

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

С. А. БОБКОВ, А. В. БАБУРИН, П. В. КОМРАКОВ,
А. В. СМИРНОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И
ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ»

Утверждено редакционно-издательским советом
Академии ГПС МЧС России
в качестве учебно-методического пособия

Москва 2013

УДК 378(076): 544
ББК 24.54я73
А66

Рецензенты:

Доктор технических наук
С. С. Воевода

Кандидат технических наук, ДОЦЕНТ
В. А. Грачев

А66 Лабораторный практикум по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения пожаров»: Учебно-методическое пособие/
С. А. Бобков, А. В. Бабурин, П. В. Комраков, А. В. Смирнов:
– М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 60 с.

В практикуме дается описание семи лабораторных работ в соответствии с программой курса «Физико-химические основы развития и тушения пожаров». Приводится краткое описание основных особенностей развития пожаров в помещениях. Рассматриваются параметры процесса прекращения горения на пожаре нейтральными газами, пенами, водой.

Предназначен для слушателей, курсантов, студентов Академии ГПС МЧС России.

УДК 378(076): 544
ББК 24.54я73

Издано в авторской редакции

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы, представленные в практикуме, позволяют закрепить теоретический материал, изложенный в учебной литературе по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожаров».

Практикум включает семь лабораторных работ по разделам «внутренние пожары» и «прекращение горения». Отличительной особенностью всех лабораторных работ является их исследовательская направленность, комплексный теоретико-экспериментальный метод определения исследуемых параметров. Это наиболее оптимальный метод обучения, позволяющий увидеть возможности теории в решении прикладных задач.

Лабораторные установки дают возможность реально моделировать процессы и явления, протекающие на внутренних пожарах, а также оценивать эффективность различных огнетушащих веществ. Методики работ предполагают выработку у слушателей навыков анализа экспериментальных данных и формулировки практических выводов.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Каждая лабораторная работа отвечает определенной теме курса, поэтому при подготовке к занятию слушатель должен изучить теоретический материал по данной теме, а затем ознакомиться с описанием работы.

В каждой лабораторной работе изложены: цель, основные теоретические положения и описание лабораторной работы, порядок подготовки и проведения опыта и контрольные вопросы для проверки усвоения материала.

В процессе проведения работы запись исходных данных, результатов испытаний и расчет конечных величин должны проводиться в специальных тетрадях или на отдельных листках. Оформление работы, графическое представление результатов там, где это более наглядно, должно быть выполнено с соблюдением математических методов обработки результатов.

Полностью оформленная и подготовленная к защите работа должна соответствовать следующим требованиям.

Выполнены все пункты раздела «Обработка результатов». Должны быть представлены расчеты всех требуемых величин, заполнены все таблицы, построены все графики.

Для каждой величины в таблицах должна быть записана соответствующая единица измерения.

Графики должны удовлетворять всем требованиям, приведенным ниже:

-выполнены на миллиметровке или листе в клетку, размер графика не менее $\frac{1}{2}$ тетрадного листа;

-на каждой оси равномерная шкала (риски через равные промежутки, числа через равное количество рисок);

-значения аргумента откладываются строго по оси **X**, функции – по оси **Y**;

-нанесены все экспериментальные точки и проведена сглаженная линия;

-теоретические (расчетные) кривые даются линиями без точек (сплошными или прерывными);

-под графиком дается его полное название: "Зависимость **Y** от **X**".

Сформулированы и записаны выводы по результатам работы. При этом выводы должны содержать анализ полученных результатов, а не изложение выполненной работы.

Допускается для обработки и представления результатов использовать компьютерные программы. Однако, при этом, слушатель обязан знать расчетные формулы и уметь производить проверку получаемых данных расчетом "вручную".

Приступая к выполнению работы, слушатель должен получить у преподавателя задание, содержащее наименование исследуемого вещества и конкретные условия проведения эксперимента.

При выполнении работы слушатель должен быть знаком с общими правилами техники безопасности работы в лаборатории и пожароопасными свойствами исследуемого материала, а также особенностями данного эксперимента.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ПЕРВОЙ ПОМОЩИ

1. При работе в лаборатории необходимо быть внимательным и соблюдать исключительную осторожность. Недостаточное знакомство с приборами и свойствами веществ, неаккуратность и отступление от правил техники безопасности и порядка проведения работы могут повлечь за собой тяжелые последствия.

Приступать к выполнению лабораторной работы разрешается только после инструктажа и соответствующей записи в журнале.

Слушатель обязан: строго соблюдать порядок выполнения работы, убрать с рабочего места все посторонние предметы, выяснить у преподавателя все возникающие в процессе работы вопросы.

2. Во избежание случайных отравлений запрещается пользоваться для питья лабораторной посудой.

3. Запрещается набирать пипеткой при помощи рта испытуемые жидкости.

4. Категорически запрещается сливать в канализацию огнеопасные жидкости, засорять грязью, твердыми предметами (бумага, древесина, битое стекло) раковины канализации.

5. В лаборатории категорически запрещается:

а) мыть оборудование, пол, столы бензином, керосином и другими легковоспламеняющимися и горючими жидкостями;

б) хранить тряпки, другие предметы, смоченные легковоспламеняющимися жидкостями.

6. Строго воспрещается проводить вблизи огня какие-либо работы, кроме предусмотренных описанием.

7. При пользовании газовыми горелками следует соблюдать следующие правила:

а) чтобы зажечь горелку надо немного открыть кран, выждать 2-3 с и затем к выходному отверстию поднести пламя спички или электрозажигалки. Если пламя «проскакивает», т.е. горит внутри горелки, ее следует немедленно погасить, дать ей остыть и только после этого зажечь снова.

8. Действующие электронагревательные приборы нельзя оставлять без присмотра.

9. Все работы с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями должны проводиться в вытяжном шкафу или под вытяжным зонтом при работающей вентиляции.

10. Категорически запрещается нагревать на открытом огне сосуды, содержащие низкокипящие огнеопасные жидкости.

11. При нагревании ЛВЖ в количестве более 0,5 л необходимо под прибор ставить кювету достаточной емкости для предотвращения разлива жидкости в случае аварии.

12. В случае внезапного прекращения подачи воды на охлаждение приборов с ЛВЖ и ГЖ горелки должны быть потушены, а электрический ток выключен.

13. После окончания работы необходимо проверить:

а) закрыты ли газовые и водяные краны, общие вентиль ввода газа в лабораторию;

б) потушены ли горелки и другие огневые приборы, включены ли электронагревательные приборы;

в) закрыты ли пробками бутылки и банки с реактивами и другими жидкостями и материалами.

14. Необходимо ознакомиться с местом нахождения в лаборатории огнетушителя, ящика с песком, асбестополотна и др.

15. При тепловом ожоге обожженное место необходимо смочить раствором перманганата калия, затем смазать мазью от ожогов, вазелином или смочить раствором пищевой соды и забинтовать.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВНУТРЕНЕГО ПОЖАРА

Ц е л ь р а б о т ы: изучить изменение основных параметров внутреннего пожара во время его свободного развития, а также их взаимосвязь и зависимость от различных факторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пожар – это сложный комплекс неразрывно связанных физических и химических процессов, среди которых основным является процесс горения. Для поддержания горения на пожаре необходим постоянный приток свежего воздуха в зону химических реакций и удаление из нее образующихся продуктов. Этот процесс называется газообменом. При пожарах на открытом пространстве происходит газообмен зоны химических реакций с окружающей средой. Он лимитируется практически только диффузией окислителя. При внутренних пожарах газообменом фактически является вентиляция помещения через проемы в ограждающих конструкциях, вызванная и регулируемая процессами горения и теплообмена.

Появление очага горения в помещении сразу вызывает повышение давления газовой среды т.к. объем продуктов горения, даже при нормальных условиях, больше объема израсходованного воздуха. Температура и плотность при этом изменяется незначительно. В соответствии с законом Паскаля ($P = P_0 - \rho gh$, где: P_0 – давление столба газа на уровне пола, P – давление столба газа на расстоянии h от пола, ρ – плотность газа, g – ускорение свободного падения) распределение давлений по высоте помещения также остается практически неизменным. В результате этого эпюра давлений внутри помещения на данном этапе смещается практически параллельно относительно эпюры давлений наружного воздуха (рис. 1.1а) и газы вытекают из помещения через все имеющиеся отверстия независимо от их расположения. Приток воздуха в помещение извне отсутствует, и процесс горения развивается за счет воздуха, находящегося в помещении.

По мере развития процесса горения и увеличения размеров очага температура газовой среды в помещении повышается, плотность (ρ_r) падает, угол наклона эпюры давлений возрастает. В результате этого наступает момент, когда давление газов (P_r) в верхней части помещения становится несколько больше атмосферного (P_b), в нижней части – меньше и на каком-то уровне – равно атмосферному (рис. 1.1б). Т.е. на этом уровне располагается условная горизонтальная плоскость, на которой выполняется условие $\Delta P = P_r - P_b = 0$. Она называется плоскостью равных давлений (ПРД) или нейтральной зоной. Расстояние от ПРД до пола считается высотой нейтральной зоны и обозначается $h_{нз}$. Через все отверстия, расположенные выше ПРД из помещения удаляются газы, ниже ПРД – поступает воздух

(см. рис. 1.1б). При этом расход воздуха через проемы определяется высотой ПРД относительно нижней отметки проема – h_0 .

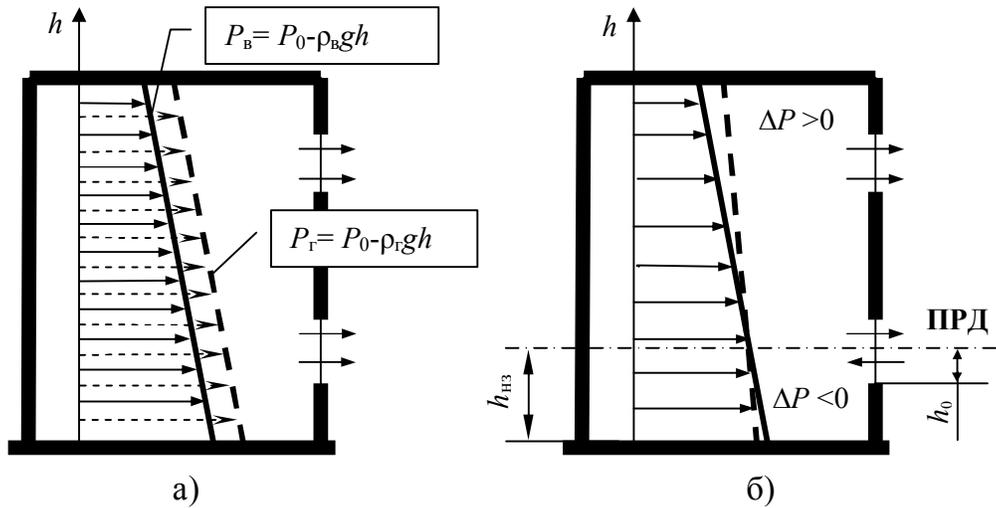


Рис. 1.1. Распределение давлений при пожаре в помещении:
а) при появлении очага горения; б) при развившемся пожаре.

Стрелками показано направление движения газовых потоков. Сплошная линия - эпюра давлений воздуха снаружи, пунктирная - эпюра давлений газовой среды внутри помещения.

По своей природе процесс горения представляет собой химическую реакцию между горючим веществом и окислителем, которая протекает с выделением тепла. Часть тепла расходуется в зоне химических реакций на нагрев продуктов горения, часть – передается в окружающую среду в виде излучения, конвекции и теплопроводности. Если бы тепло, выделяющееся в зоне горения, расходовалось только на нагрев газовой среды внутри помещения, то ее максимальная температура постепенно достигала бы температуры пламени. Однако часть тепла, выделяющегося в зоне горения, поглощают строительные конструкции, часть теряется в результате излучения через открытые проемы, затрачивается на нагрев горючих материалов (главным образом в ходе начальной стадии пожара), уносится из помещения вместе с продуктами горения через проемы. В общем виде тепловой баланс внутреннего пожара может быть представлен следующим уравнением:

$$q_{п} = q_{ср} + q_{уд} + q_{м} + q_{к} + q_{л} \quad (1.1)$$

где: $q_{ср}$ - интенсивность накопления тепла газовой средой в помещении; $q_{уд}$ - интенсивность удаления тепла из помещения нагретыми газами; $q_{м}$ - интенсивность поглощения тепла горючими материалами во время их нагрева до воспламенения; $q_{к}$ - интенсивность поглощения тепла ограждающими конструкциями; $q_{л}$ - интенсивность излучения тепла за пределы помещения через проемы.

Величина $q_{\text{ср}}$ определяет температуру газовой среды внутри помещения. Остальные составляющие правой части уравнения (1.1) являются потерями тепла. Величина $q_{\text{к}}$ зависит от теплофизических характеристик материалов, из которых выполнены ограждающие конструкции; $q_{\text{л}}$ определяется площадью проема, а также излучательной способностью пламени.

Интенсивность поглощения тепла горючими веществами зависит от их теплофизических свойств, проявляется главным образом на стадии распространения пожара, и на температуру газовой среды влияет мало.

Т. о. $q_{\text{л}}$, $q_{\text{к}}$, и $q_{\text{м}}$ обусловлены характеристиками здания и горючих материалов, находящихся в помещении. Поэтому управлять потерями тепла наиболее эффективно путем увеличения $q_{\text{уд}}$:

$$q_{\text{уд}} = G_{\text{г}} c_p (T_{\text{п}} - T_0) \quad (1.2)$$

где: c_p - удельная теплоемкость выходящих газов при $T_{\text{п}}$; T_0 - начальная температура.

Представим сумму ($q_{\text{м}} + q_{\text{к}} + q_{\text{л}}$) как долю потерь m от $q_{\text{п}}$. Тогда уравнение (1.1) можно переписать в виде:

$$q_{\text{ср}} = q_{\text{п}}(1 - m) - q_{\text{уд}} \quad (1.3)$$

или

$$q_{\text{ср}} = \beta v_{\text{м}} Q_{\text{п}}(1 - m) - G_{\text{г}} c_p (T_{\text{п}} - T_0) \quad (1.3')$$

Если $q_{\text{п}}(1 - m) > q_{\text{уд}}$, то $q_{\text{ср}} > 0$ - происходит интенсивное накопление тепла газовой средой, температура газа повышается. Если $q_{\text{п}}(1 - m) = q_{\text{уд}}$, то $q_{\text{ср}} = 0$ - пожар протекает при установившемся (стационарном) теплогазообмене. Соотношение $q_{\text{п}}(1 - m) < q_{\text{уд}}$ наблюдается при затухании пожара, когда $v_{\text{м}}$ падает и $q_{\text{п}}$ уменьшается. Соответственно интенсивность поступления тепла в газовую среду становится меньше и ее температура понижается.

Динамикой внутреннего пожара называется изменение его параметров во времени. Основными параметрами внутреннего пожара являются следующие.

Продолжительность (время) пожара – $\tau_{\text{п}}$. Продолжительностью пожара называется время с момента его возникновения до прекращения процесса горения. Процесс горения может прекратиться самопроизвольно (самозатухание пожара), в результате выгорания горючего или применения огнетушащих веществ. В последнем случае $\tau_{\text{п}}$ складывается из времени свободного развития и времени тушения.

Площадь пожара – $S_{\text{п}}$. Площадью пожара называется площадь проекции зоны горения на горизонтальную или вертикальную плоскость. Как правило, используется проекция зоны горения на горизонтальную плоскость. Горение жидкостей и газов является гомогенным. Горение ТГМ может протекать как в гомогенном, так и в гетерогенном режимах. Поэтому в

площадь пожара включаются участки поверхности, на которых происходит как гомогенное, так и гетерогенное горение.

Составляющая площади пожара, над которой существует пламя - $S_{\text{ГОМОГ}}$ зависит от притока воздуха в зону горения. При небольших размерах факела приток воздуха обеспечивает образование горючей смеси практически во всем его объеме. Тогда $S_{\text{ГОМОГ}} = S_{\text{П}}$. По мере распространения пожара, края фронта пламени удаляются друг от друга и воздуху все труднее проникать в зону горения. В результате этого внутри факела образуется область, в которой выделяющимся газообразным продуктам пиролиза не хватает окислителя для сгорания.

На внутренних пожарах часто встречается ситуация, когда нехватка кислорода приводит к ограничению объема пламени. Наступает момент, когда площадь, над которой возможно пламенное горение ($S_{\text{ГОМОГ}}$), ограничена притоком воздуха, а общая площадь пожара увеличивается за счет роста площади гетерогенного горения ($S_{\text{ГЕТЕРОГ}}$).

Площадь поверхности горения – $S_{\text{ПГ}}$. Этот параметр характеризует реальную площадь горючего, которая участвует в горении, т.е. выделяет горючие газы при пиролизе или испарении, а также взаимодействует с окислителем в гетерогенном режиме. Площадь поверхности горения определяет интенсивность выделения тепла на пожаре.

Линейная скорость распространения пожара – $v_{\text{Л}}$ (м/с, м/мин). Под этим параметром понимают путь, который на данном объекте проходит фронт пламени в единицу времени. Величина $v_{\text{Л}}$ определяет площадь пожара на данный момент. Она зависит от вида горючего, характеристик пожарной нагрузки и ее размещения, вида пожара и др. факторов.

Площадь пожара в реальных условиях зависит не только от скорости распространения пламени по поверхности ТГМ, но и от скорости его перехода с одного предмета на другой. Поэтому на $v_{\text{Л}}$ влияет также характер размещения горючих изделий и материалов на объекте, интенсивность теплового излучения, направление и скорость газовых потоков. При рассредоточенной пожарной нагрузке интенсивности излучения от горящего предмета может быть недостаточно для воспламенения материалов соседних предметов. Тогда пожар не распространится на всю площадь объекта и останется локальным.

Величина $v_{\text{Л}}$ зависит также от состава газовой среды, поступающей в зону горения. Так, на внутренних пожарах, по мере развития процесса горения, концентрация кислорода в газовой среде уменьшается, температура пламени и, соответственно, его излучательная способность снижаются. Это приводит к уменьшению скорости распространения пламени по поверхности горючего. Вместе с тем, температура газовой среды в помещениях часто достигает температуры воспламенения материалов до того как

пожар охватит все помещение. В этих случаях перед фронтом пламени образуется газоздушная смесь на нижнем концентрационном пределе, по которой пламя распространяется со скоростью до 50 м/с, т.е. практически мгновенно. Это явление называется общей вспышкой.

Массовая скорость выгорания – масса горючего вещества, сгорающая в единицу времени. Для газообразных горючих она равна скорости выброса вещества. Для жидкостей и твердых материалов она определяется как скорость потери массы т.е. показывает, какая масса ТГМ или жидкости при горении переходит в газообразное состояние в единицу времени. Очевидно, что чем больше площадь поверхности, с которой происходит газо-выделение, тем выше потеря массы. Поэтому различают массовую скорость выгорания абсолютную - v_m (кг/с, кг/мин), удельную – $v_m^{уд} = v_m/S_{пр}$ [кг/(с·м²), кг/(мин·м²)] и приведенную $v_m^{пр} = v_m/S_{пр}$ [кг/(с·м²), кг/(мин·м²)].

На открытых пожарах, образующиеся (выбрасываемые) газы сгорают практически полностью в зоне горения. На внутренних пожарах из-за недостатка воздуха часто возникает ситуация, когда газы в помещении выделяются быстрее, чем успевают сгорать внутри помещения.

Теплота пожара – $q_{п}$ (кВт) показывает какое количество тепла выделяется на пожаре в 1с и определяется выражением:

$$q_{п} = \beta v_m Q_n \text{ или } q_{п} = \beta v_m^{уд} S_{пр} Q_n \quad (1.4)$$

где: β – коэффициент полноты сгорания; Q_n - низшая теплота сгорания материала, кДж/кг.

В ряде случаев используют понятие “приведенная теплота пожара” т.е. интенсивность выделения тепла с единицы площади пожара - $q_{п}' = q_{п}/S_{пр} = \beta v_m^{уд} Q_n$, кВт/м².

Температура пожара – $T_{п}$. Температурой открытых пожаров считается температура пламени. Она зависит, главным образом от вида горючего. Для наиболее распространенных ТГМ действительная температура горения составляет около 1150°С, жидкостей - 1250°С, газов - 1350°С.

Температурой внутренних пожаров на практике считается среднеобъемная температура газовой среды в помещении. Она ниже температуры горения материалов на открытом пространстве. Так, при горении ТГМ в помещении, среднеобъемная температура газовой среды редко превышает 1000°С.

Коэффициент избытка воздуха – α характеризует количество воздуха, которое при пожаре не участвует в горении. На внутренних пожарах, при наличии газообмена помещения с окружающей средой α находится как отношение расхода воздуха фактически поступающего через проемы (G_B) к теоретически необходимому для сгорания материала с массовой скоростью v_m (G_B^0):

$$\alpha = G_B/G_B^0. \quad (1.5)$$

Следует иметь в виду, что коэффициент избытка воздуха относится к объему всего помещения. Непосредственно в зоне горения практически всегда недостаток воздуха. По величине α можно оценить концентрацию кислорода (φ_K) в продуктах горения из выражения:

$$\alpha \approx 21/(21 - \varphi_K) \quad (1.6)$$

Если при развитии пожара φ_K понизится до значения, предельного для горения данного горючего материала, то резкий приток воздуха может вызвать объемную вспышку и выброс пламени в смежное помещение.

В динамике внутренних пожаров выделяют четыре основных стадии: начальную, развития, стационарную и стадию затухания. Начальной стадией считается период времени от момента возникновения очага пожара до охвата пламенем максимально возможной площади. Если начальная стадия заканчивается охватом всего помещения, т.е. $S_{\text{п}} = S_{\text{пола}}$, пожар становится объемным. Если по какой-то причине (например, большой неравномерности распределения нагрузки) пожар охватывает лишь часть помещения, он называется локальным.

Стадия развития протекает уже при постоянной площади пожара. В этот период параметры процессов горения, газо- и теплообмена достигают предельных для данного пожара значений и затем, на какое-то время, остаются постоянными. Стадия, в течение которой параметры пожара не изменяются, называется стационарной. Если пожар не тушить, то он переходит в стадию затухания, когда площадь горения уменьшается, скорость выгорания и, соответственно теплота пожара снижаются, плоскость равных давлений поднимается. В помещение поступает больше холодного воздуха, что при уменьшении интенсивности тепловыделения приводит к снижению температуры пожара.

В зависимости от соотношения массовой скорости образования горючих газов и скорости их сгорания внутри помещения различают два режима внутреннего пожара. В тех случаях, когда приток воздуха достаточен для достижения максимальной полноты сгорания, обусловленной видом горючего, массовая скорость выгорания не зависит от расхода воздуха, поступающего в помещение. Такой режим получил название "пожар регулируемый нагрузкой" (ПРН). В тех случаях, когда интенсивность газообмена ограничивает массовую скорость выгорания, т.е. приток воздуха в помещение не обеспечивает максимальную полноту сгорания горючих газов, пожар называется регулируемым вентиляцией (ПРВ).

Если при режиме ПРН увеличить приток воздуха в помещение температура газовой среды понизится т.к. наружный воздух является значительно более холодным. Вскрытие проемов, откачивание дыма при ПРН также

приводит к снижению температуры пожара. При таких способах регулирования газообмена возрастает интенсивность удаления тепла с продуктами горения $q_{уд}$. А так как $q_{п}$ при ПРН не изменяется (v_m остается постоянной), $q_{ср}$ становится отрицательной (см. уравнение 1.3) и температура пожара снижается.

Очевидно, что при ПРВ увеличение интенсивности газообмена вызовет рост массовой скорости выгорания, интенсивности тепловыделения $q_{п}$ и, соответственно, температуры пожара. При длительном развитии пожара в режиме ПРВ в помещении накапливаются несгоревшие газы. Вскрытие проемов приводит к их разбавлению воздухом. Создается угроза образования и воспламенения горючей газовой смеси – объемной вспышки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

О п и с а н и е у с т а н о в к и. Схема установки показана на рис. 1.2. Основным ее элементом является макет помещения. Макет оборудован одним дверным проемом. Площадь и конфигурация проема изменяются при помощи одной горизонтальной и двух вертикальных заслонок.

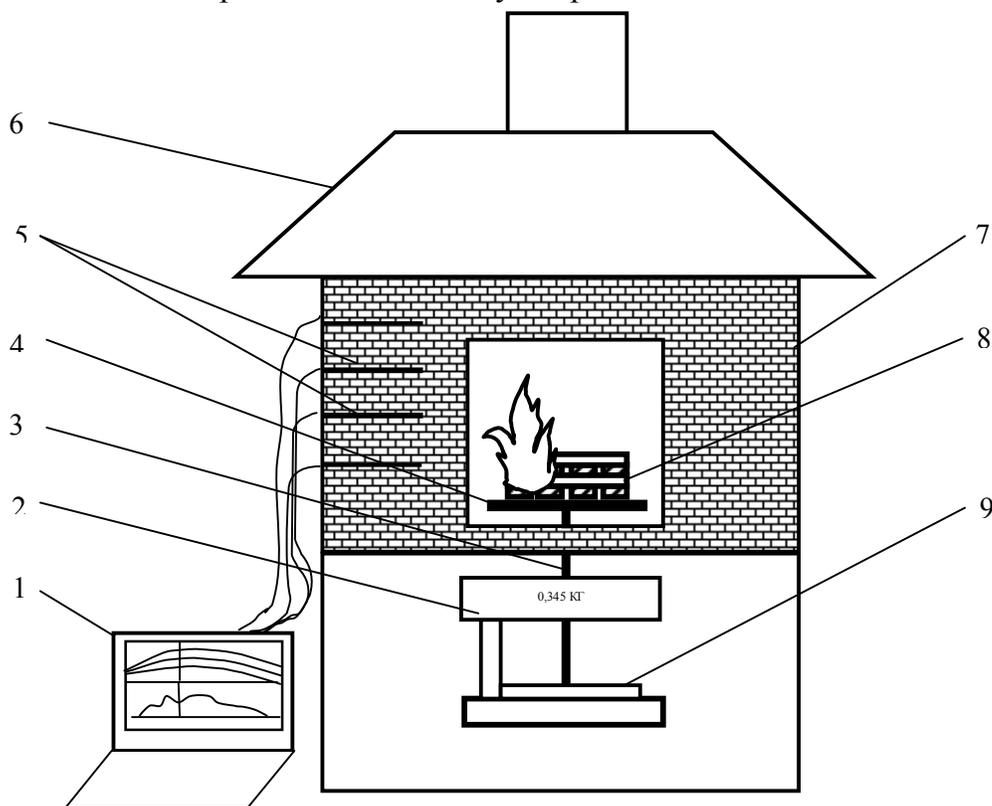


Рис. 1.2. Схема экспериментальной установки.

- 1 – компьютер; 2 – электронные весы; 3 – штроб; 4 - поддон; 5 – термопары; 6 – зонт системы вентиляции; 7 – макет помещения; 8 – штабель; 9 – платформа весов.

Горючий материал размещается на подвижном поддоне, который закреплен на платформе электронных весов.

Температура газовой среды в разных точках объема помещения контролируется термопарами. Показания термопар и весов через каждые 10с считываются измерительным комплексом и регистрируются с помощью компьютера. Для определения положения ПРД относительно нижней отметки проема рядом с проемом прикреплена измерительная линейка.

В ходе выполнения работы проводятся два опыта при разных режимах пожара.

При горении штабеля древесины режим пожара можно определить по параметру Φ :

$$\Phi = \frac{\rho_v \sqrt{g} S_{\text{пр}} \sqrt{H}}{S_{\text{пр}}}, \quad (1.7)$$

где: ρ_v – плотность воздуха, кг/м³, g – ускорение свободного падения, $g = 9,8\text{м/с}^2$; $S_{\text{пр}}$ – площадь проема, м²; H – высота проема, м; $S_{\text{пр}}$ – площадь поверхности горения, м².

Если $\Phi < 0,235$ – пожар регулируемый вентиляцией, $\Phi > 0,29$ – пожар регулируемый нагрузкой.

Площадь поверхности горения $S_{\text{пр}}$ в каждый момент времени связана с площадью пожара через коэффициент поверхности $K_{\text{п}}$:

$$S_{\text{пр}} = S_{\text{п}} K_{\text{п}}. \quad (1.8)$$

С учетом того, что поверхность брусков в местах их пересечений друг с другом гореть не будет, коэффициент поверхности горения штабеля, выложенного из брусков квадратного сечения ($a \times a$), рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{N(4ab + 2a^2) - 2a^2(n-1)(N/n)^2}{L \cdot b}, \quad (1.9)$$

где: N – общее число брусков в штабеле; n – число рядов; b – длина бруска, L – длина штабеля.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя задание и записать исходные данные в табл.1.1.

2. Распределить среди членов бригады обязанности по:

- регистрации измеряемых параметров;
- массы штабеля, кг;
- высоты ПРД относительно нижней отметки проема, м;
- пути, пройденного фронтом пламени к моменту измерения, м;
- отсчету времени;

- записи результатов измерений в тетради.

3. Штабель из брусков древесины выложить на поддоне так, чтобы нижние бруски опирались на края поддона.

4. Для регистрации пути, пройденного пламенем, на бруски, расположенные на втором ярусе и обращенные к наблюдателю, нанести деления с интервалом 1 см.

5. Установить поддон со штабелем на весы и записать его начальную массу в табл. 1.1.

6. Вытащить поддон и под крайний слева брусок поместить полоску асбеста, смоченную горючей жидкостью (изопропиловым спиртом, керосином). Заметить на сколько изменилась масса.

7. Установить поддон на весы и поджечь асбест.

8. Установить заслонку в заданном положении.

9. После выгорания жидкости (т.е. когда масса поддона со штабелем станет примерно равна начальной) командой «Пуск» включить измерительный комплекс, начать отсчет времени по секундомеру, и через 60 с провести первое измерение параметров, указанных в п. 2.

10. Все последующие измерения производятся одновременно через каждые 60 с.

11. Опыт проводить до прекращения пламенного горения.

12. Остановить работу измерительного комплекса.

13. Сохранить полученные результаты на съемном носителе.

14. Распечатать на принтере отчет.

15. После окончания опыта угли выбрасываются в ведро с водой.

Таблица 1.1

Исходные данные

Общее число брусков N	Число брусков в одном ряду n	Начальная масса поддона и штабеля m_0 , кг	Проем		K_n
			ширина B , м	высота H , м	
Опыт №1					
Опыт №2					

Результаты измерений

Время, мин	Масса поддона и штабеля, m_i , кг	Путь фронта пламени, l_i , м	Высота ПРД, h_0 , м
Опыт №1			
1			
2			
3			
4			
...			
Опыт №2			
1			
2			
3			
4			
5			
...			

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Формируемый компьютером отчет содержит показания всех термопар, значения среднеобъемной температуры $T_{п}$ (в °С) и абсолютной массовой скорости выгорания штабеля v_m (в кг/с) в виде графиков и таблицы.

Следует обратить внимание, что каждое значение v_m , приведенное в таблице, автоматически было умножено на 10^4 . Измерительный комплекс производит расчет $T_{п}$ и v_m с интервалом 10с, а значения параметров, определяемых вручную, записываются через 60с. Поэтому, для согласования результатов ручных и автоматических измерений из таблицы отчета, сформированного компьютером, в таблицу 1.3 записывается каждое 6-е значение соответствующего параметра.

Обработка результатов вручную производится следующим образом.

Например. За первую минуту масса поддона со штабелем уменьшилась с m_0 до m_1 , за вторую минуту – с m_1 до m_2 . Фронт пламени за первую минуту переместился на расстояние l_1 от края штабеля, за вторую – на l_2 .

Массовая скорость выгорания равна:

$$\text{- на первой минуте } v_m^1 = \frac{m_0 - m_1}{60}, \text{ кг/с ;}$$

$$\text{- на второй минуте } v_m^2 = \frac{m_1 - m_2}{60}, \text{ кг/с ;}$$

и т.д.

Линейная скорость:

- на первой минуте $v_{л}^1 = \frac{l_1}{1}$, м/мин;

- на второй минуте $v_{л}^2 = \frac{l_2 - l_1}{1}$, м/мин;

и т.д.

Площадь пожара:

- на первой минуте $S_{п}^1 = l_1 \cdot b$, м²;

где b – ширина штабеля (длина бруска), м.

- на второй минуте $S_{п}^2 = l_2 \cdot b$, м²;

и т.д.

Площадь поверхности горения находится по формуле (1.9).

Удельную и приведенную и массовую скорость выгорания получают делением $v_{м}^i$ на $S_{п}^i$ и $S_{пг}^i$ соответственно.

Теплоту пожара $q_{п}$ рассчитывают по выражению (1.4).

Фактический расход воздуха находится по формуле:

$$G_{в} = \frac{2}{3} \mu B h_0 \sqrt{2 g h_0 \rho_{в} (\rho_{в} - \rho_{пг})}, \text{ кг/с} \quad (1.10)$$

где: μ – коэффициент аэродинамического сопротивления проема, $\mu = 0,65$; B – ширина проема, м; h_0 – высота плоскости равных давлений относительно нижней отметки проема, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{в}$ – плотность воздуха, принимается $\rho_{в} = 1,2$ кг/м³; $\rho_{пг}$ – плотность продуктов горения при температуре пожара $T_{п}$

Плотность продуктов горения находится по графику на рис. 1.3.

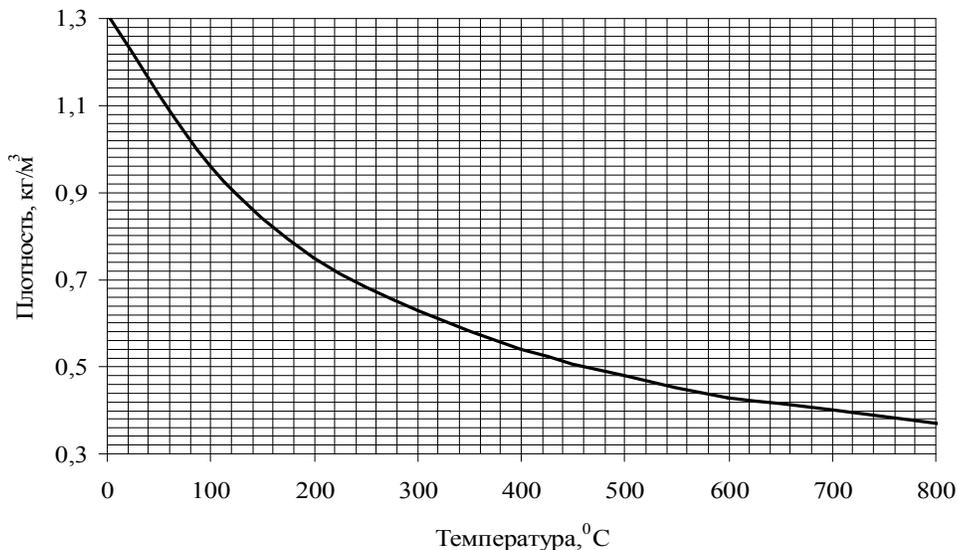


Рис. 1.3. Зависимость плотности продуктов горения от температуры

Теоретически необходимый расход воздуха рассчитывается по формуле:

$$G_B^0 = v_M V_B^0 \rho_B \quad (1.11)$$

где: V_B^0 - теоретический объем воздуха, м³/кг; ρ_B - плотность воздуха, кг/м³.

Результаты обработки данных заносятся в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты обработки данных

Время, мин	$v_{л}$, м/мин	$S_{П2}$, м ²	Скорость выгорания			$T_{П}$, °С	$q_{П}$, кВт	G_B , кг/с	G_B^0 , кг/с	α
			v_M , кг/с	$v_M^{уд}$, кг/(с·м ²)	$v_M^{пр}$, кг/(с·м ²)					
Опыт 1										
Опыт 2										

По данным табл. 1.3 строятся графики зависимостей приведенных в ней параметров от времени. На каждом графике приводятся соответствующие зависимости для двух опытов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая стадия (или стадии) пожара исследуются в данных опытах?
2. Дать определение, объяснить физический смысл основных параметров внутреннего пожара.
3. Как зависит скорость распространения пламени от концентрации кислорода в газовой среде?
4. Что такое общая вспышка? При каких условиях она происходит?
5. Что такое объемная вспышка? При каких условиях она происходит?
6. Как зависит теплота пожара от массовой скорости выгорания?
7. Как зависит продолжительность начальной стадии пожара от массовой скорости выгорания? Чем объясняется эта зависимость?
8. Что такое плоскость равных давлений? Какие параметры влияют на ее положение относительно пола помещения?
9. Что означает "пожар, регулируемый нагрузкой"?
10. Что означает "пожар, регулируемый вентиляцией"?
11. Определить режим пожара на момент времени, указанный преподавателем?
12. Какие возможны последствия изменения условий газообмена в момент времени, указанный преподавателем?

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ОГNETУШАЩЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВОГО СОСТАВА ПРИ ТУШЕНИИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Ц е л ь р а б о т ы: Определить минимальную огнетушащую концентрацию газового составов методом "чашечной" горелки.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Нейтральные газы используются в качестве огнетушащих веществ, для тушения пожаров, - прекращения уже начавшегося процесса горения. При тушении пожаров, когда процесс горения протекает в диффузионном режиме, нейтральные газы поступают в зону горения из вне, в смеси с окислителем. Концентрация горючего и окислителя в зоне протекающей реакции уменьшается, что приводит к снижению интенсивности тепловыделения и, соответственно, температуры пламени. Вместе с тем, поступая в зону горения, нейтральные газы имеют начальную температуру, равную температуре окружающей среды. Следовательно, при их подаче в зону горения неизбежно возрастает интенсивность теплоотвода за счет потери части тепла на непосредственный нагрев этих газов.

Гомогенное горение прекращается в тот момент, когда температура пламени снижается до температуры потухания. Выполнение этого условия достаточно для тушения пожаров газов и жидкостей.

Оценка эффективности огнетушащих газовых составов производится исходя из огнетушащей концентрации.

Огнетушащая концентрация - концентрация огнетушащего вещества в объеме, создающая среду, не поддерживающую горение.

Нормативная огнетушащая концентрация – огнетушащая концентрация, установленная в действующих нормативных документах.

Минимальная огнетушащая концентрация средств объемного тушения - наименьшая концентрация средств объемного тушения в воздухе, которая обеспечивает мгновенное тушение диффузионного пламени вещества в условиях опыта.

Для ее экспериментального определения используют метод диффузионной или "чашечной" горелки. Сущность данного метода заключается в нахождении наименьшего содержания газообразного огнетушащего вещества в потоке воздуха, при котором прекращается горение жидкости. Значения минимальной огнетушащей концентрации, полученные данным методом, используются в качестве нормативной концентрации при проектировании автоматических установок газового пожаротушения, а также при контроле качества газовых огнетушащих составов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

О п и с а н и е у с т а н о в к и. Лабораторная работа проводится на установке, схема которой показана на рис. 2.1. Установка состоит из металлического основания 4 с газовыми вводами с одной стороны и вводом для горючего с другой. На основание устанавливается реакционная труба 1, представляющая собой стеклянный цилиндр с колпаком 7 и модельный очаг - “чашечная горелка” 2. Внутри основания расположен стеклянный бой 3 для выравнивания потока подаваемой смеси на тушение. Горючее заливается в расширительную емкость 5, расположенную на подъёмном столике 6. Нейтральный газ подается в основание через расходомер 9. Трехходовой вентиль 8 служит для переключения потока газа в атмосферу. Воздух подается через газовый расходомер 10 в основание, где перемешивается с нейтральным газом. Полученная смесь подается на тушение.

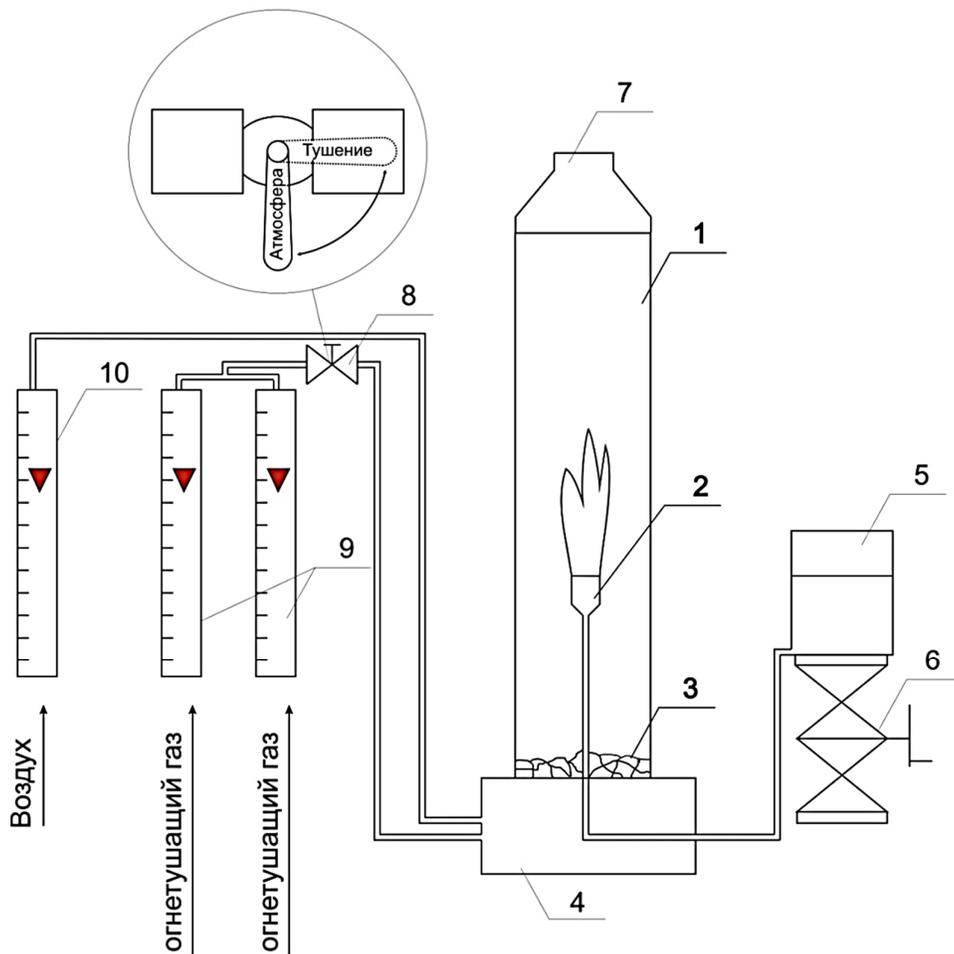


Рис. 2.1 Схема лабораторной установки для определения минимальной огнетушащей концентрации газовых составов

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Экспериментальную установку рис.2.1 установить на ровной поверхности в помещении, оборудованном вентиляционной системой с принудительным побуждением. Проверить соединения газовых и горюче-жидкостных магистралей на целостность.

2. Включить подачу воздуха и отрегулировать его расход через расходомер 10. Каждый установленный расход поддерживать в течении испытания.

3. Заполнить расширительную ёмкость 5 горючей жидкостью устанавливая уровень 1 мм, от края в сообщающемся модельном очаге «чашечной горелке» 2 с помощью подъёмного столика 6, при этом исключая всяческий пролив горючей жидкости в основание установки.

4. Установить на основание стеклянный цилиндр 1, на цилиндр установить колпак 7.

5. Убедившись, что трехходовой кран 8 находится в положении «атмосфера», включить подачу огнетушащего газа и отрегулировать его расход через расходомер 9. Каждый установленный расход поддерживать в течении испытания.

6. Поджечь горючую жидкость в горелке 2. Отрегулировать высоту пламени в пределах от 4 до 8 см., так же изменяя расположения расширительной ёмкости 5 по высоте при помощи подъёмного столика 6.

7. Включить подачу огнетушащего газа в реакционную трубу с помощью трёхходового вентиля 8. В момент тушения пламени прекратить подачу газа путем переключения магистрали на выход в атмосферу зафиксировать показания расходомера 9. Время тушения должно соответствовать 10 – 12 с.

8. При выходе времени тушения за пределы 10 – 12 с опыт признается не удачным.

9. Далее увеличивается расход газового состава и эксперимент повторяется.

10. Все полученные экспериментальные данные заносятся в таблицу 2.2.

11. Рассчитать огнетушащую концентрацию газового состава (в % об.) по формуле:

$$\varphi_{\text{огн}} = \frac{V_{\text{нг}} \cdot 100}{V_{\text{в}} + V_{\text{нг}}} \quad (2.1)$$

где: $V_{\text{нг}}$ - расход нейтрального газа, при котором достигается максимально возможное время тушения, л/с; $V_{\text{в}}$ - расход воздуха через расходомер, л/с.

12. Рассчитать скорость потока воздуха в реакционной трубе по формуле

$$V_3 = 4V_B/(\pi d^2), \text{ м/с} \quad (2.2)$$

где: V_B - расход воздуха через расходомер л/с; d – внутренний диаметр реакционной трубы, м.

13. Построить зависимость $\varphi_{\text{огн}}$ от скорости потока V_3 (в м/с)

14. Сделать выводы о минимальной огнетушащей концентрации исследуемого газа.

Таблица 2.1

Исходные данные

Температура окружающей среды, °С	
Давление, Па	
Относительная влажность воздуха %,	
Горючая жидкость	
Нейтральный газ	
Задаваемые расходы воздуха, л/мин	
Начальные расходы нейтрального газа, л/мин	

Таблица 2.2

Результаты измерений

№ п/п	Расход воздуха V_B , л/мин	Расход нейтрального газа $V_{\text{нг}}$, л/с	Время тушения τ , с	Огнетушащая концентрация, φ , %
		1..... 2..... 3..... n.....		
		1..... 2..... 3..... n.....		
Минимальная огнетушащая концентрация				$\varphi_{\text{min}} =$

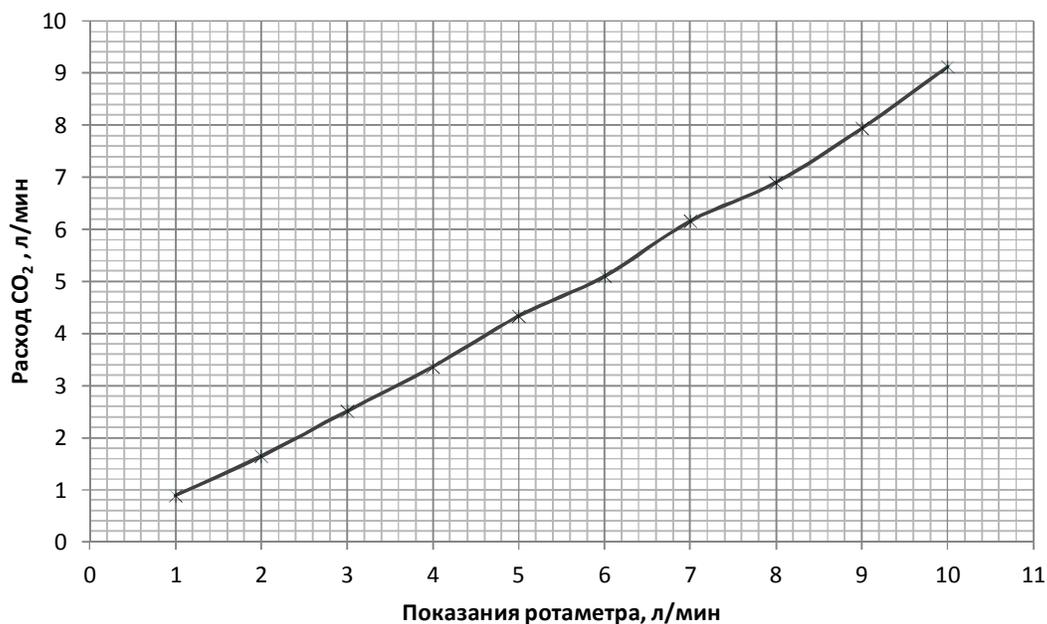


Рис.2.2. Тарировочный график для диоксида углерода.

Контрольные вопросы

1. Какие вещества можно отнести к нейтральным газам? Приведите примеры.
2. Назовите механизмы прекращения горения с помощью нейтральных газов?
3. Что называется огнетушащей концентрацией?
4. Что называется минимальной огнетушащей концентрацией?
5. Что называется нормативной огнетушащей концентрацией?
6. Что называется минимальной флегматизирующей концентрацией?
7. В чем заключается сущность метода диффузионной или “чашечной” горелки?

Лабораторная работа 3

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ГАЗОВЫМИ СОСТАВАМИ

Ц е л ь р а б о т ы: изучить закономерности процесса тушения пожаров в помещениях газовыми составами на примере нейтральных газов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Объемное тушение пожаров основано на создании в защищаемом объеме среды, не поддерживающей горения. В качестве огнетушащих веществ при этом используют нейтральные газы: диоксид углерода (CO_2), азот (N_2), водяной пар (H_2O), гелий (He) и аргон (Ar). Их иногда называют инертными газами, но это не совсем корректно. Собственно инертными являются только He и Ar. Остальные способны вступать в различные химические реакции и являются инертными только по отношению к компонентам конкретной реагирующей смеси.

При использовании таких огнетушащих веществ тушение пламени наступает в результате снижения его температуры до температуры потухания. Это происходит в результате снижения скорости тепловыделения в зоне химической реакции за счет:

- снижения числа активных соударений (разбавление зоны горения);
- непосредственного охлаждения зоны горения.

Эффективность нейтральных газов как огнетушащих веществ зависит не только от способности разбавлять газовую среду (так как эта способности одинакова у всех газов), но и от способности их молекул поглощать энергию, т.е. от теплоемкости. Из данных, приведенных в табл. 3.1, следует, что самым эффективным среди этих газов является наиболее теплоемкий CO_2 .

Кроме того, скорость распространения пламени по перемешанной смеси в присутствии нейтральных газов зависит от интенсивности передачи тепла из зоны реакции в свежую горючую смесь. Чем ниже теплопроводность смеси, тем меньше скорость распространения пламени. Поэтому огнетушащая способность нейтральных газов определяется не только теплоемкостью, а соотношением теплоемкости и теплопроводности – c_p/λ (см. табл. 3.1).

Мерой эффективности газовых составов при разбавлении (флегматизации) предварительно перемешанных смесей паров (газов) служит минимальная *флегматизирующая* концентрация φ_m . Значения φ_m для разных горючих веществ отличаются. Этим объясняется довольно значительный интервал флегматизирующих концентраций у каждого нейтрального газа. При тушении диффузионного пламени огнетушащая концентрация будет отличаться от φ_m . Поэтому при расчетах установок газового пожаротуше-

ния используют нормативную величину (табл. 3.2), которая представляет собой минимальную огнетушащую концентрацию (см. лаб. работу №2), умноженную на коэффициент запаса.

Таблица 3.1.

Значения теплоемкости и теплопроводности нейтральных газов

Газ	$\frac{M, \text{ кг}}{\text{кмоль}}$	c_p^{298}			$\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\frac{c_p}{\lambda} \cdot 10^{-3}$	$\varphi_m, \text{ \%об.}$	$\varphi_{огн}, \text{ \%об.}$
		$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}\cdot\text{К}}$	$\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3\cdot\text{К}}$				
CO ₂	44	0,84	37,0	1,54	1,66	92,8	25÷35	30,9÷35,7
N ₂	28	1,04	29,1	1,21	2,57	47,1	35÷48	27,8÷36,0
H ₂ O _{пар}	18	1,97*	35,5*	1,16*	2,50	46,4	35÷40	-
He	4,0	5,20	20,8	0,87	15,2	57,2	35÷40	-
Ar	39,3	0,52	20,4	0,85	1,77	48,0	40÷51	36,1÷46,8

*При 373К.

Примечание. M – молярная масса, c_p^{298} – удельная теплоемкость при 298К, λ – коэффициент теплопроводности, φ_m – минимальная флегматизирующая концентрация, $\varphi_{огн}$ – нормативная огнетушащая концентрация.

Таблица 3.2.

Нормативные огнетушащие концентрации нейтральных газов при тушении горючих материалов

Горючий материал	Нормативная огнетушащая концентрация, %об			
	CO ₂	N ₂	Ar	"Инерген"*
Н-гептан	34,9	34,6	39,0	36,5
Этанол	35,7	36,0	46,8	36,0
Бензин А-76	-	33,8	44,3	-
Масло машинное	-	27,8	36,1	28,3
Ацетон технический	33,7	-	-	37,2
Толуол	30,9	-	-	-
Спирт изобутиловый	33,2	-	-	-
Керосин осветительный КО-25	32,6	-	-	-
Растворитель 646	32,1	-	-	-

*Смесь газов состава: N₂ – 52 %; Ar – 40 % CO₂ – 8 %

Процесс горения, а следовательно, и процесс тушения, зависит также от параметров тепло- и газообмена на пожаре.

Рассмотрим процесс тушения пожара газовым составом в негерметичном помещении на упрощенной модели. Допустим, что газообразное огнетушащее вещество мгновенно распространяется по всему объему и его концентрация в любой точке помещения в каждый момент времени равна среднеобъемной. Тогда, концентрация газа в потоке продуктов сгорания,

удаляющихся из помещения вследствие газообмена, также будет равна среднеобъемной, причем количество потерянного газа будет расти по мере повышения его концентрации в помещении. Также допустим, что расходы огнетушащего газа и продуктов сгорания во время тушения остаются постоянными. Тушение достигается, когда концентрация газа (φ) в помещении становится равна огнетушащей ($\varphi_{\text{огн}}$). Вместо объемной концентрации φ будем использовать объемную долю газа $a = \varphi/100$.

Составим материальный баланс процесса заполнения помещения газом:

$$q_{\text{гос}} d\tau = V_{\text{пом}} da + a q_{\text{пг}} d\tau \quad (3.1)$$

где: $q_{\text{гос}}$ – расход газового состава, $\text{м}^3/\text{с}$; $q_{\text{пг}}$ – расход продуктов горения, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м^3 ; τ – время, с.

Разделив переменные, получим:

$$d\tau = V_{\text{пом}} \frac{da}{q_{\text{гос}} - q_{\text{пг}} a} \quad (3.2)$$

Учитывая, что τ изменяется от 0 до времени тушения $\tau_{\text{т}}$, а содержание газа в объеме помещения от 0 до огнетушащего $a_{\text{огн}}$, проинтегрируем данное выражение и подставив значения переменных на пределах интегрирования, найдем $\tau_{\text{т}}$:

$$\tau_{\text{т}} = \frac{V_{\text{пом}}}{q_{\text{пг}}} \ln \frac{q_{\text{гос}}}{q_{\text{гос}} - q_{\text{пг}} a_{\text{огн}}}, \text{с} \quad (3.3)$$

Разложим логарифм в степенной ряд по формуле $\ln x = |(x-1)/(x+1)|$. Используя первый член этого ряда, получим выражение, более удобное для анализа:

$$\tau_{\text{т}} = \frac{2V_{\text{пом}} a_{\text{огн}}}{2q_{\text{гос}} - q_{\text{пг}} a_{\text{огн}}}, \text{с} \quad (3.4)$$

Анализ данной формулы показывает, что при тушении пожара секундный расход газового состава не может быть меньше некоторой критической величины. Если знаменатель дроби равен нулю, то $\tau_{\text{т}} \rightarrow \infty$ и тушение не наступает. Такой секундный расход называется критическим $q_{\text{гос}}^{\text{кр}}$. Из формулы (3.4) следует, что его величина составляет:

$$q_{\text{гос}}^{\text{кр}} = (1/2)q_{\text{пг}} a_{\text{огн}}, \text{м}^3/\text{с} \quad (3.5)$$

Величину $q_{\text{пг}}$ можно найти по формуле:

$$q_{\text{пг}} = \frac{2}{3} \mu \frac{S_{\text{пр}} - S_1}{\rho_{\text{пг}}} \sqrt{2g(H-h_0)\rho_{\text{пг}}(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{пг}})}, \text{м}^3/\text{с} \quad (3.6)$$

где μ – коэффициент сопротивления проема ($\mu \approx 0,65$); $H_{\text{пр}}$ – высота проема, м; h_0 – высота плоскости равных давлений, м; $\rho_{\text{пг}}$ – плотность продуктов горения, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{в}}$ –

плотность воздуха, кг/м^3 ; $S_{\text{пр}}$ – площадь проема, м^2 ; S_1 – площадь приточной части проема, м^2 , ($S_1=B_{\text{пр}} \cdot h_0$, где $B_{\text{пр}}$ – ширина проема, м).

Плотность воздуха при 20°C составляет примерно $1,2 \text{ кг/м}^3$, а плотность продуктов горения можно оценить по графику, приведенному на рис. 3.1, или рассчитана по упрощенной формуле:

$$\rho_{\text{пг}} = \frac{352}{T_{\text{п}}}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.7)$$

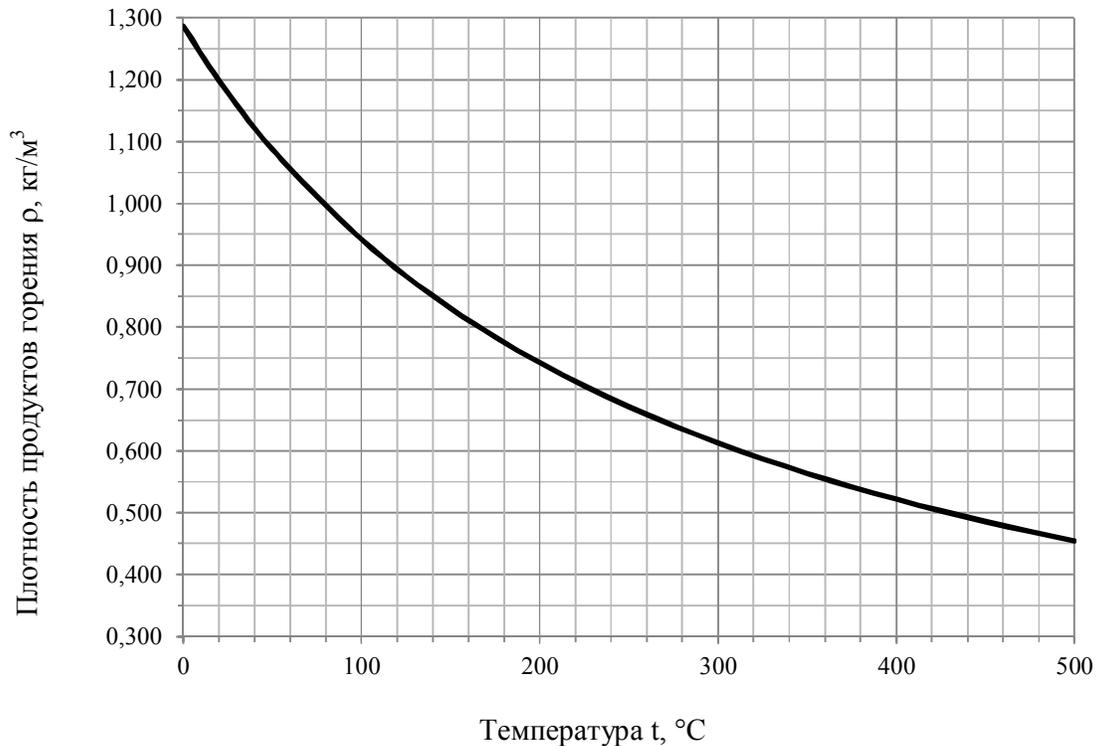


Рис. 3.1. Зависимость плотности продуктов горения от температуры

Формула 3.4 описывает кривую тушения газовым составом, характерный вид которой показан на рис. 3.2. Там же приведена характерная зависимость удельного расхода от секундного расхода ГОС. Зависимость удельного расхода от $q_{\text{гос}}$ позволяет определить оптимальное значение $q_{\text{гос}}^{\text{opt}}$, при котором удельные затраты ГОС на тушение минимальны при прочих равных условиях.

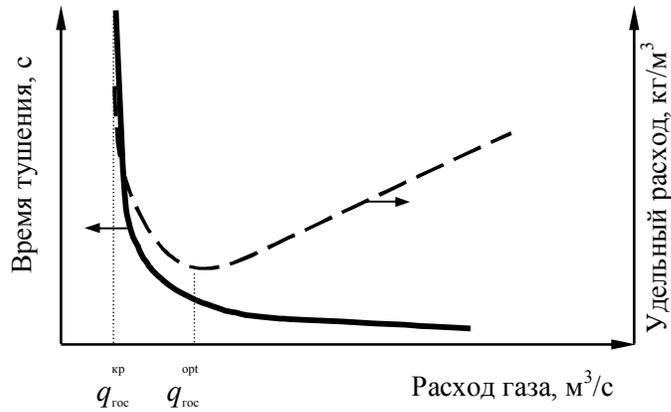


Рис. 3.2. Зависимость времени тушения и удельного расхода газового состава от его секундного расхода.

Оптимальный секундный расход газа, соответствующий минимальным затратам огнетушащего вещества можно оценить следующим образом. Удельный расход газа $g_{нг}$ равен:

$$g_{нг} = \frac{q_{нг} \tau_T M}{V_{пом} 22,4}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.8)$$

где: M – молярная масса нейтрального газа, кг/кмоль.

Из формулы (3.8) получаем:

$$g_{нг} = \frac{q_{нг} Ma_{огн}}{11,2(2q_{нг} - q_{пг} a_{огн})}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.9)$$

Для того, чтобы найти минимум функции $g_{нг} = f(q_{нг})$ необходимо приравнять к нулю производную $dg_{нг}/dq_{нг}$. Отсюда:

$$q_{нг}^{opt} = 2,4 q_{пг}^{кр}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.10)$$

$$G_{нг}^{min} = \frac{2,4 a_{огн} M}{22,4}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.11)$$

Фактический удельный расход газа на тушение определяется по формулам:

$$G_{нг} = \frac{q_{нг} \tau_T}{V_{пом}}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (3.12)$$

$$G_{нг} = \frac{q_{нг} \tau_T M}{V_{пом} 22,4}, \text{ кг/м}^3 \quad (3.13)$$

Таким образом, для проведения расчетов необходимо знать среднюю температуру продуктов горения, высоту плоскости равных давлений по отношению к нижнему краю проема, геометрические размеры проема и самого помещения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Схема установки показана на рис. 3.3.

В макете помещения (1) по периметру расположен перфорированный трубопровод (8), поддон для размещения горючего (3), и термопары (9) для измерения температуры газовой среды, сигналы с которых выводятся на устройство регистрации (10) – персональный компьютер с программным измерительным комплексом. Масса горючей нагрузки (2) регистрируется с помощью электронных весов (4), усилие на которые передается подвижным штоком от поддона с горючим (3). Макет помещения имеет проем, через который происходит газообмен. На внешней стороне проема нанесена масштабная линейка, с помощью которой можно определить положение плоскости равных давлений. Для этого нужно поднести к краю проема горящую зажигалку или фитиль, и найти то положение, при котором язычок пламени не отклоняется ни внутрь, ни наружу. Этому положению и соответствует плоскость, скорость потока газов в которой равна нулю.

Подача огнетушащего газа на тушение из баллона (5) регулируется редуктором с вентилем (6), а расход газа измеряется с помощью градуированного ротаметра (7).

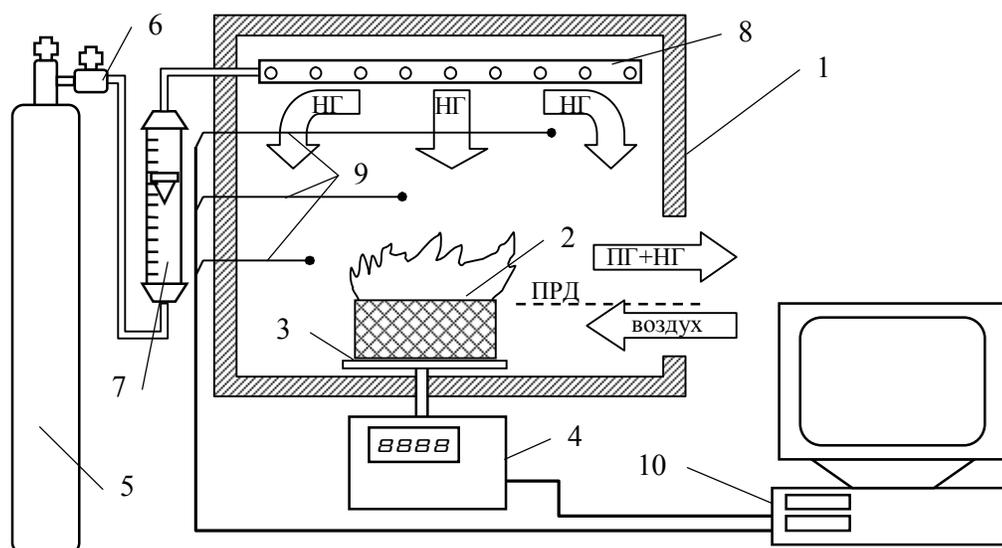


Рис. 3.3. Схема экспериментальной установки.

- 1 – макет помещения, 2 – горючая нагрузка, 3 – поддон, 4 – электронные весы, 5 – баллон с огнетушащим газом, 6 – регулировочный вентиль, 7 – ротаметр поплавковый, 8 – перфорированный трубопровод, 9 – термопары, 10 – компьютеризированный измерительный комплекс.

При проведении эксперимента на поддон помещают горючую нагрузку (емкость с горючей жидкостью или штабель древесины) и поджигают ее, после чего с помощью подвижной заслонки устанавливают требуемую

величину проема, через который будет происходить газообмен. Огнетушащий газ на тушение подается при установлении стационарного режима пожара ($\tau_{п}=3\div 5$ мин., $T_{п}\approx const$, $v_{м}\approx const$). При достижении в зоне горения огнетушащей концентрации газа пламенное горение прекратится, и пожар считается потушенным. По этому моменту и измеряют время тушения $\tau_{т}$ для горючих жидкостей. При тушении твердых горючих материалов, склонных к тлению (например, древесины), время тушения будет больше, так как необходимо добиться охлаждения прогретого слоя горючего до температуры ниже температуры вспышки.

Этот момент можно определить либо по показаниям дополнительной термопары, помещенной внутрь штабеля, либо визуально – по исчезновению всех очагов тления на поверхности горючей нагрузки, либо, что наиболее точно, по снижению массовой удельной скорости выгорания ниже критической.

Массовая удельная скорость выгорания представляет собой количество горючего вещества, выгорающего в единицу времени с единицы площади поверхности горения, и определяется по показаниям компьютеризованного измерительного комплекса или рассчитывается по формуле:

$$v_{м}^{уд} = \frac{m_i - m_{i+1}}{\tau \cdot S_{пр}}, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2) \quad (3.15)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя задание и занести исходные данные в табл. 3.3:

- объем макета помещения
- вид нейтрального газа
- огнетушащая концентрация газа
- размер проема (ширина, высота)
- вид горючего (ГЖ или ТГМ)
- площадь пожара
- площадь поверхности горения

2. Распределить среди членов подгруппы обязанности по регистрации следующих параметров:

- текущей массовой скорости горючего материала
- высоты плоскости равных давлений
- температуры пожара

При проведении эксперимента по тушению пожара необходимо зафиксировать:

- время тушения
- секундный расход газа

Расходы газов через ротаметры определяются по тарировочным графикам, приведенным на рисунках 3.4, 3.5.

3. Включить измерительный комплекс и убедиться в его работоспособности (рис. 3.6).

4. Подготовить горючий материал и поместить в макет помещения.

5. При тушении штабеля древесины – расположить в геометрическом центре объема штабеля дополнительную термопару для контроля за температурой внутри штабеля при тушении.

6. Поджечь горючую нагрузку с помощью фитиля.

7. Установить заданную высоту и ширину проема с помощью подвижной заслонки.

8. При установлении стационарного режима пожара (определяется по температуре пожара или массовой скорости выгорания – они не должны значительно меняться в течение 2÷3 минут) приступить к тушению пожара путем подачи огнетушащего газа.

Время тушения τ_t определяется:

Для горючих жидкостей – визуально по моменту прекращения пламенного горения.

Для штабеля древесины –

- по снижению температуры внутри штабеля ниже 150°C, контролируется по показаниям дополнительной термопары, помещаемой внутрь штабеля.

- по снижению массовой удельной скорости выгорания ниже критической – 0,005 кг/(с·м²), контролируется по показаниям весов или регистрирующего комплекса.

- визуально по исчезновению всех очагов тления на поверхности горючей нагрузки; этот способ наименее точен, поэтому рекомендуется контролировать момент тушения по всем трем признакам в комплексе.

9. Зафиксировать параметры тушения и занести полученные результаты в табл. 3.4.

10. Извлечь остатки горючего из макета помещения и заменить его (если это необходимо).

11. Дать макету проветриться в течении 5÷10 минут.

12. Повторить пункты 4-9 при других значениях расхода газа и размера проема (в соответствии с заданием, выданным преподавателем).

13. По окончании опыта отключить измерительный комплекс, привести в порядок установку и рабочее место, убрать остатки горючего (слить ГЖ в исходную емкость, поместить угли в ведро с водой).

14. Приступить к обработке результатов.

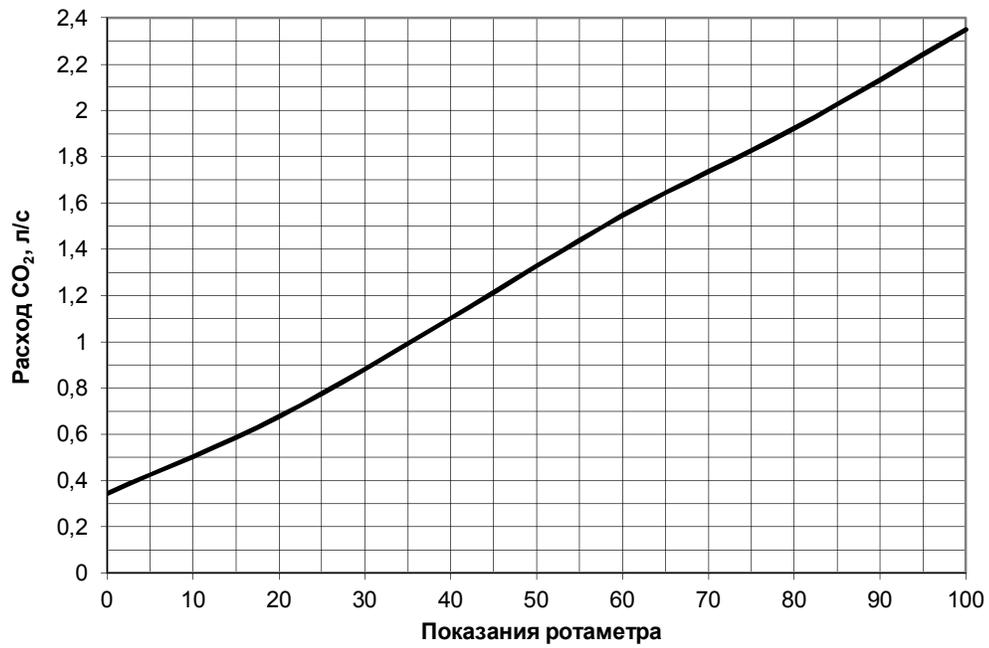


Рис. 3.4. Тарировочный график для диоксида углерода

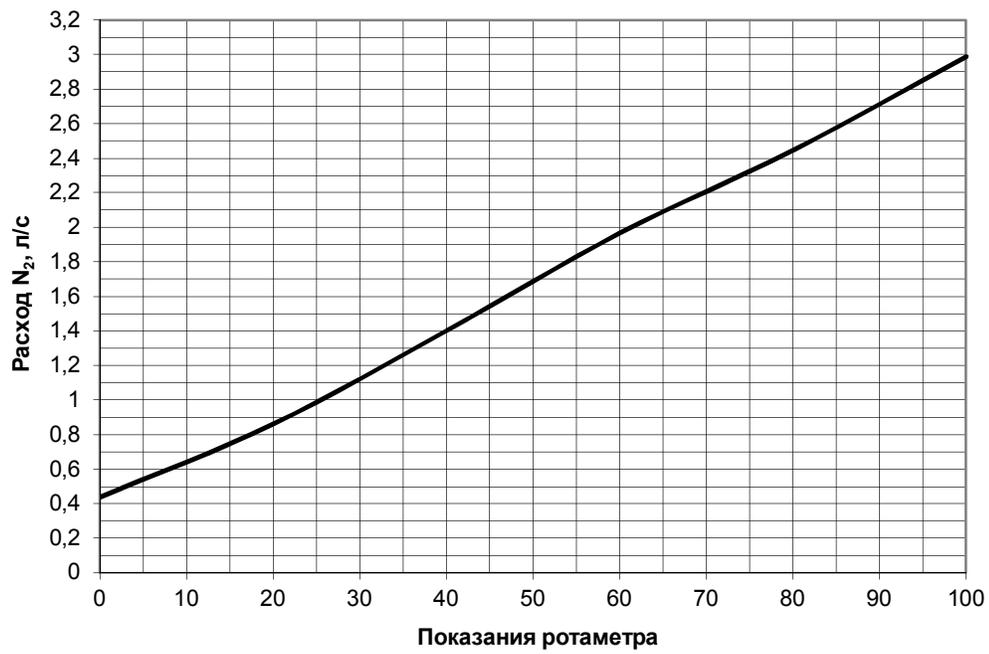


Рис. 3.5. Тарировочный график для азота

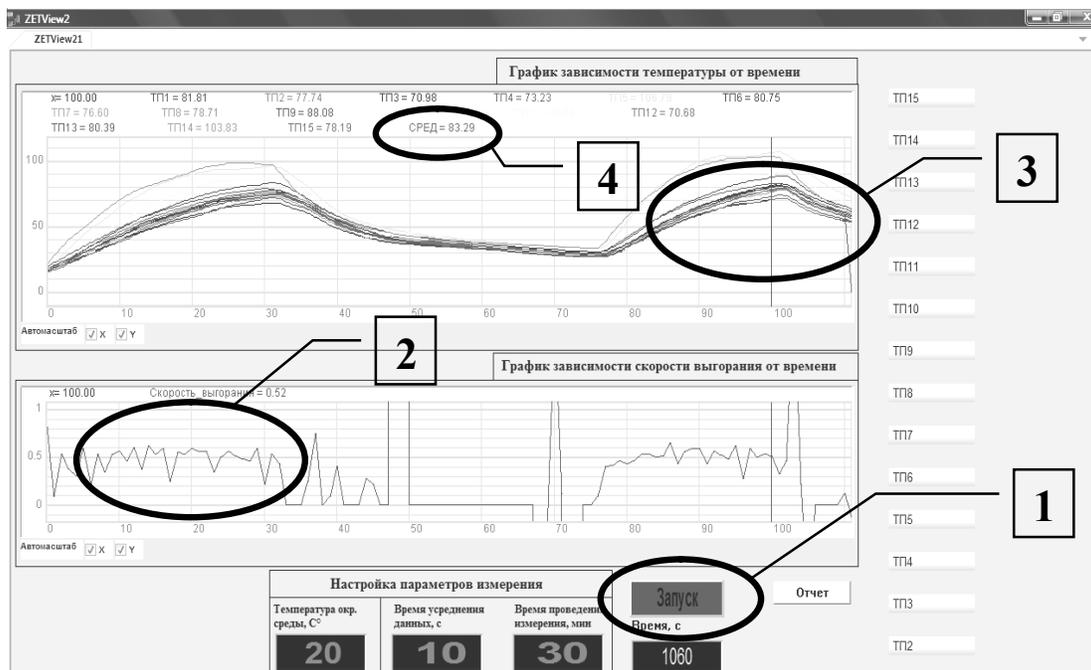


Рис. 3.7. Рабочее окно программы получения и обработки данных. Примечание: для включения программы необходимо нажать кнопку «Запуск» (поз.1), после этого можно отслеживать изменение массовой скорости выгорания (поз. 2), а передвигая вправо синий вертикальный маркер на графике отображения температуры (поз. 3) - получать данные по текущей среднеобъемной температуре (поз. 4).

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. По результатам опытов, зафиксированных в табл. 3.4, рассчитать по формуле 3.14 удельный расход огнетушащего газа для каждого эксперимента.
2. Построить совмещенный график зависимости времени тушения и удельного расхода огнетушащего газа от секундного расхода газа по аналогии с рис. 3.2.
3. По полученным графикам определить оптимальное время тушения и секундный расход газа.
4. Сравнить полученное оптимальное время тушения с теоретическим, определенным по формуле 3.4.
5. Сравнить полученное значение оптимального секундного расхода с теоретическим, рассчитанным по формуле 3.12.
6. Сделать выводы о влиянии таких параметров, как размер проема, объем помещения, удельная массовая скорость выгорания горючего, температура пожара в момент подачи газа на время тушения и значение оптимального удельного расхода огнетушащего газа.

Таблица 3.3.

Исходные данные

Объем помещения $V_{\text{пом}}, \text{м}^3$	Вид НГ	Огнетуш. концентрация НГ, %	Размеры проема		Вид горючего	Площадь пожара, $S_{\text{п}}, \text{м}^2$	Площадь поверхн. горения $S_{\text{пг}}, \text{м}^2$
			Ширина $B, \text{м}$	Высота $H, \text{м}$			

Таблица 3.5.

Параметры тушения пожара

№ опыта	Площадь проема, м^2	ПРД $h_0, \text{м}$	$v_{\text{м}}$ кг/с	Секундный расход НГ		Время тушения, $\tau_{\text{т}}, \text{с}$	Удельный расход НГ, $G_{\text{нг}}, \text{кг}/\text{м}^3$
				n , дел.	$q_{\text{нг}}$, л/с		
1							
...							
10							

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества относятся к нейтральным газам? Почему?
2. Каковы механизмы прекращения горения с помощью НГ? Выделите доминирующие. Как они зависят от типа горючего материала?
3. Какие НГ более эффективны при тушении? Почему?
4. Почему для всех нейтральных газов существует интервал по величине огнетушащей концентрации?
5. Как изменится оптимальный расход НГ, если при тушении в помещении вскрылся еще один проем?
6. Как зависят оптимальный и критический расход НГ от температуры пожара?
7. Как зависят оптимальный и критический расход НГ от режима пожара (ПРВ или ПРН)? Почему?
8. В каком случае удельный расход НГ больше – при тушении ЛВЖ или ГЖ? Почему?
9. Как графически определить критический расход НГ?
10. От каких параметров внутреннего пожара зависит критический секундный расход НГ?
11. Почему НГ недостаточно эффективны при тушении твердых горючих материалов, склонных к тлению?
12. Как влияет время свободного развития пожара до начала подачи НГ на величину критического секундного расхода?

Лабораторная работа 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ВОЗДУШНО - МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Ц е л ь р а б о т ы: исследовать зависимость интенсивности разрушения пены от температуры горячей жидкости.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пена, как огнетушащее средство широко используется при тушении пожаров на объектах химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также используется для тушения твёрдых и жидких веществ, вступающих во взаимодействие с водой. По своей структуре пена представляет собой дисперсную двухфазную систему, состоящую из пузырьков газа, окружённых плёнками жидкости.

В процессе тушения пена разрушается. Обычно рассматривают следующие виды разрушения пен: термическое – под действием тепловых потоков от факела пламени и нагретой жидкости; контактное – в результате проникновения жидкости в структуру пены и гидростатическое (синерезис). При термическом разрушении происходит разрыв стенок пузырьков из-за расширения, заключённого в них нагретого газа. Причинами контактного разрушения являются взаимная растворимость компонентов пенообразующего раствора и горючей жидкости, а также втягивание жидкости в каналы Плато – Гиббса за счёт пониженного давления в них. Гидростатическое разрушение происходит за счёт истечения раствора из пенной структуры под действием силы тяжести.

Стойкость пены в условиях пожара зависит от вида пенообразователя и параметров пены.

По способу образования пены подразделяют на химические и воздушно – механические. Химическая пена образуется при взаимодействии растворов кислот и щелочей в присутствии пенообразующего вещества и представляет собой концентрированную эмульсию диоксида углерода в водном растворе минеральных солей.

Воздушно-механическую пену получают при одновременной подаче на металлическую сетку 2 – 6%-го водного раствора пенообразователя и эжектируемого потоком этого раствора воздуха.

По природе основного поверхностно – активного вещества пенообразователи делятся на протеиновые (белковые), синтетические углеводородные и фторсодержащие. Протеиновые пенообразователи в своей основе содержат природный белок. Пены на их основе имеют высокую термическую устойчивость. Пена из протеиновых составов не боится горячих ме-

таллических поверхностей (например, стенок резервуаров). Существенным недостатком белковых соединений является неспособность обеспечить получение высокократных пен, что сужает диапазон их применения.

Синтетические углеводородные пенообразователи обладают высокой пенообразующей способностью и обеспечивают получение среднекратных и высокократных пен. Такие пенообразователи применяются в основном для тушения пожаров пеной в помещениях, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. В результате разрушения пены выделяется раствор пенообразователя в виде капель, называемый отсеком. Отсек охлаждает поверхность горючей жидкости, что снижает скорость химической реакции в зоне горения, и как следствие уменьшает температуру пламени. Но в целом разрушение пены на основе углеводородного пенообразователя является отрицательным фактором, так как замедляет создание изолирующего слоя пены. Кроме того, при тушении высококипящих жидкостей, образующих гомотермический слой, капли отсека могут вызвать вскипание и выброс. Углеводородные пенообразователи не пригодны для тушения водорастворимых, полярных жидкостей, так как интенсивность разрушения пен в этих случаях намного больше реально достижимой интенсивности подачи.

При тушении пенами на основе фторированных пенообразователей из отсека на поверхности горючей жидкости образуется плёнка раствора. Она хорошо растекается по поверхности и защищает пену от разрушающего действия жидкости. Образующаяся плёнка водного раствора при контакте с нагретой жидкостью частично разрушается за счёт испарения, выпадения капель воды и углеродной части на дно резервуара. Тем самым она охлаждает поверхностный слой жидкости и уменьшает интенсивность разрушения пены.

Из одного и того же пенообразователя можно получить пену, обладающую различной огнетушащей эффективностью. Это зависит главным образом от её параметров, таких как кратность, дисперсность, вязкость и др.

Кратностью пены $K_{\text{п}}$ называется отношение объёма пены $V_{\text{п}}$ к объёму раствора пенообразователя, из которого она образована $V_{\text{раствора}}$

$$K_{\text{п}} = V_{\text{п}} / V_{\text{раствора}} \quad (4.1)$$

Подразделяют воздушно-механическую пену на низкократную (кратность до 20), среднекратную (кратность 20 – 200), высокократную (кратность выше 200). Пены низкой кратности из углеводородных пенообразователей рекомендуются в основном для тушения высококипящих горючих жидкостей, так как их изолирующая способность невелика, а в механизме прекращения горения большую роль играет охлаждение. Пены низкой кратности из фторированных пенообразователей применяются для туше-

ния пожаров жидкостей в резервуарах, оборудованных установками подачи пены через слой горючего. Пенами средней кратности, обладающими меньшими термической стойкостью и текучестью, но более высокими изолирующими способностями, можно осуществлять тушение легковоспламеняющихся горючих жидкостей (ЛВЖ) с низкой температурой кипения. Для объёмного тушения в подвалах, кабельных каналах и т. п., как правило, используется пена высокой кратности.

Дисперсность пены $D_{\text{п}}$ обратно пропорциональна среднему диаметру пузырьков $d_{\text{ср}}$:

$$D_{\text{п}} = 1/d_{\text{ср}} \quad (4.2)$$

Дисперсность пены во многом зависит от условий её получения, в том числе и от характеристики аппаратуры. Пены с высокодисперсной структурой обладают лучшей изолирующей способностью и большой стойкостью.

Вязкость характеризует способность пены к растеканию, и оценивается коэффициентом динамической вязкости. Вязкость пены зависит от таких факторов и параметров как от вида пенообразователя, кратности, дисперсности. С повышением вязкости пены стойкость её возрастает, но ухудшается растекаемость по горячей поверхности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная установка (рис. 4.1) состоит из противня с горючей жидкостью, в центре которой размещается ограничительное кольцо.

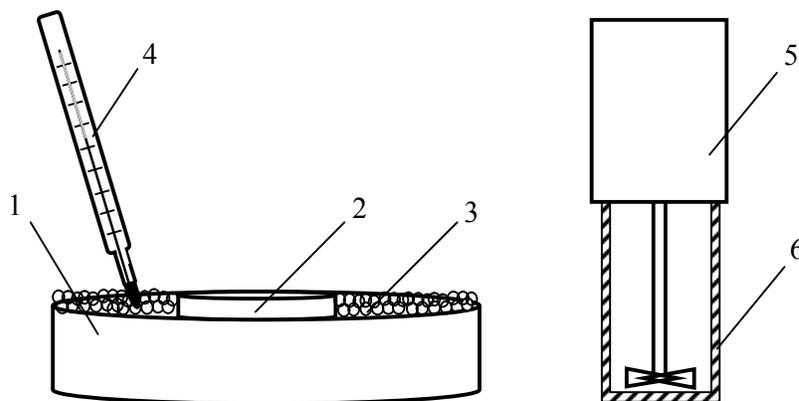


Рис 4.1 Схема установки для определения интенсивности разрушения пены.

1 – противень с горючей жидкостью, 2 – ограничительное кольцо, 3 – пена, 4 – термометр, 5 – миксер для получения пены, 6 – металлический стакан.

Для получения пены используется миксер. Время разрушения пены определяется с помощью секундомера, масса разрушенной пены – взвешиванием стакана, содержащего пену до и после опыта, температуру горючей жидкости измеряют термометром.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Получить задание и записать исходные данные.
- 2) Приготовить 100 мл раствора пенообразователя с концентрацией, указанной в задании.
- 3) Вылить раствор в металлический стакан, и миксером получить пену, перемешивая жидкость в течение 20 ± 5 с.
- 4) Определить кратность пены.
- 5) Взвесить стакан с пеной массу (m_0) записать в таблицу.
- 6) Перелить пену на поверхность горючей жидкости между ограничительным кольцом и бортом противня так, чтобы её уровень примерно соответствовал высоте борта.
- 7) Взвесить ёмкость с остатками пены (m_1),
- 8) Зажечь жидкость внутри ограничительного кольца 2.
- 9) Определить время полного разрушения пены (τ_p).
- 10) Крышкой накрыть противень и тем самым потушить пламя.
- 11) Термометром измерить температуру верхнего слоя горючей жидкости.
- 12) Тем же раствором пенообразователя повторить эксперимент 5 – 6 раз.
- 13) Для каждого опыта рассчитать интенсивность разрушения по формуле:

$$I_p = \frac{m_0 - m_1}{S_{\Pi} \tau_p} \quad (4.3)$$

где S_{Π} – площадь зеркала жидкости, m^2 . $S_{\Pi} = S_{\text{противня}} - S_{\text{ограничительного кольца}}$

Все полученные данные заносятся в таблицу 4.1. По результатам работы строится график зависимости интенсивности разрушения пены от температуры горючей жидкости.

- 14) Повторить опыты для другой горючей жидкости.

Таблица 4.1

Результаты измерений

№ п/п	Горючая жидкость	Пенообразователь	Концентрация раствора	Кратность пены	m_0 , кг	m_1 , кг	τ_p , с	J_{p_2} , л/(м ² ·с)	t , °С

Выводы по результатам лабораторной работы должны содержать сравнительную оценку влияния температуры горючей жидкости разных видов (ЛВЖ и ГЖ) на интенсивность разрушения пены.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что собой представляет пена? Какова её структура?
2. Назовите основные причины (виды) разрушения пены.
3. Как классифицируются основные пенообразователи?
4. Что такое кратность и дисперсность пены, и как они влияют на интенсивность её разрушения?
5. Какие факторы внешней среды влияют на интенсивность разрушения пены?
6. Какую роль играет разрушение пены в процессе тушения горючих жидкостей?
7. По результатам работы сравнить значения интенсивности разрушения пены для различных горючих жидкостей. Чем вызваны наблюдаемые различия?

Лабораторная работа 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕКРАЩЕНИЯ ГОРЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ВОЗДУШНО – МЕХАНИЧЕСКИМИ ПЕНАМИ

Ц е л ь р а б о т ы: экспериментально исследовать параметры процесса тушения жидкостей в резервуарах. Дать сравнительную оценку эффективности пенообразователей разных видов, а также разных способов тушения.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пена является достаточно универсальным огнетушащим веществом и используется для тушения как жидкостей, так и твёрдых материалов.

При тушении пену подают на отдельные участки горячей поверхности. Растекаясь по поверхности горючего, пена создаёт слой определённой толщины. Огнетушащая способность пены обусловлена, прежде всего, её изолирующим действием, т. е. способностью препятствовать поступлению горючих газов в зону химической реакции. Изолирующее действие пены зависит от её физико-химических свойств и структуры, от толщины слоя, а также от природы горючего вещества и температуры на его поверхности. При тушении твёрдых материалов, существенное значение имеет охлаждающее действие.

Механизм прекращения горения пенами жидкостей в целом включает следующие процессы:

- экранирование поверхности жидкости от действия лучистого потока и, как следствие, уменьшение интенсивности испарения;
- разбавление зоны горения парами воды;
- охлаждение жидкости выделяющимся отсеком;
- изолирование жидкости, т. е. создание на её поверхности слоя пены, непроницаемого для паров.

Процесс тушения характеризуется следующими параметрами. Время тушения τ_T - время от момента подачи пены на поверхность жидкости, до момента прекращения горения. Интенсивность подачи J – количество раствора пенообразователя, подаваемое на 1 м^2 площади пожара в секунду. Удельный расход $q_{уд}$ – количество раствора пенообразователя, израсходованного за время тушения на 1 м^2 . Время тушения зависит от соотношения интенсивностей подачи и разрушения пены. Если они равны, то тушение не достигается, т. е. $\tau_T = \infty$. Такая интенсивность подачи называется крити-

ческой $J_{кр}$. Характерная зависимость времени тушения (кривая тушения) и удельного расхода от интенсивности подачи показана на рис. 5.1.

Интенсивность подачи, при которой удельный расход пенообразователя минимален, считается оптимальной J_{opt} . Обычно $J_{opt} = (2 \div 3)J_{кр}$ в зависимости от состава пенообразователя, вида горючей жидкости, параметров пены и др.

Эффективность применяемого пенообразователя, способа подачи пены можно оценить с помощью показателя эффективности тушения $П_{эт}$.

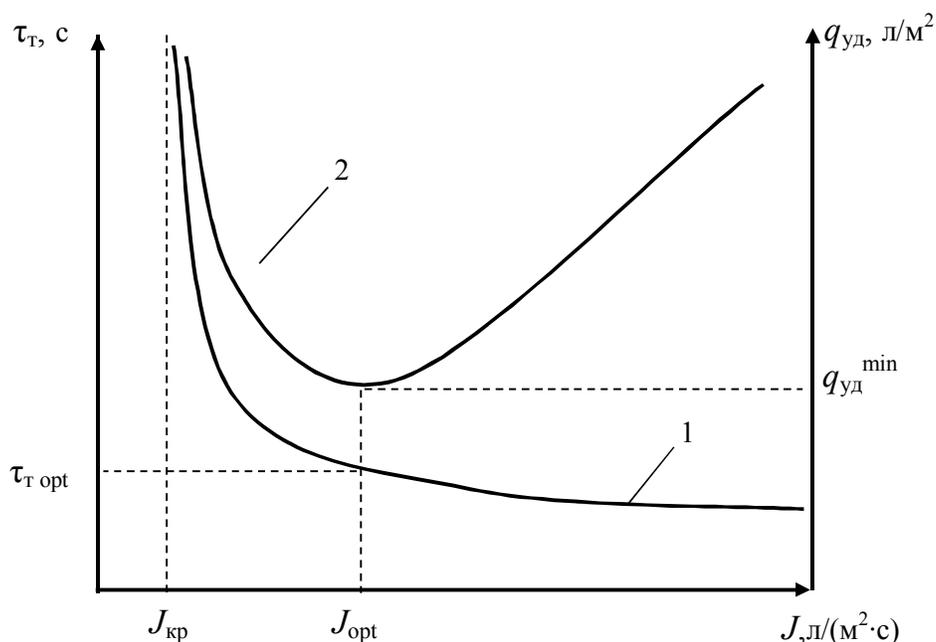


Рис. 5.1 Зависимость времени тушения(1) и удельного расхода (2) от интенсивности подачи раствора пенообразователя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная установка включает в себя модель резервуара 1, трубопровод для подачи пены в резервуар 3, ёмкость с пеной 2, систему нагнетания воздуха в ёмкость с пеной и регулирования его расхода. Модель резервуара имеет водяную рубашку охлаждения.

Для выполнения работы пену получают, перемешивая раствор пенообразователя в металлической ёмкости 2. Готовую пену сжатым воздухом перекачивают из ёмкости по трубопроводу в резервуар на поверхность или под слой горячей жидкости. Расход пены варьируют, изменяя расход

воздуха. Расход воздуха регулируется краном 6 по показаниям ротаметра 5. Время тушения измеряют с помощью секундомера.

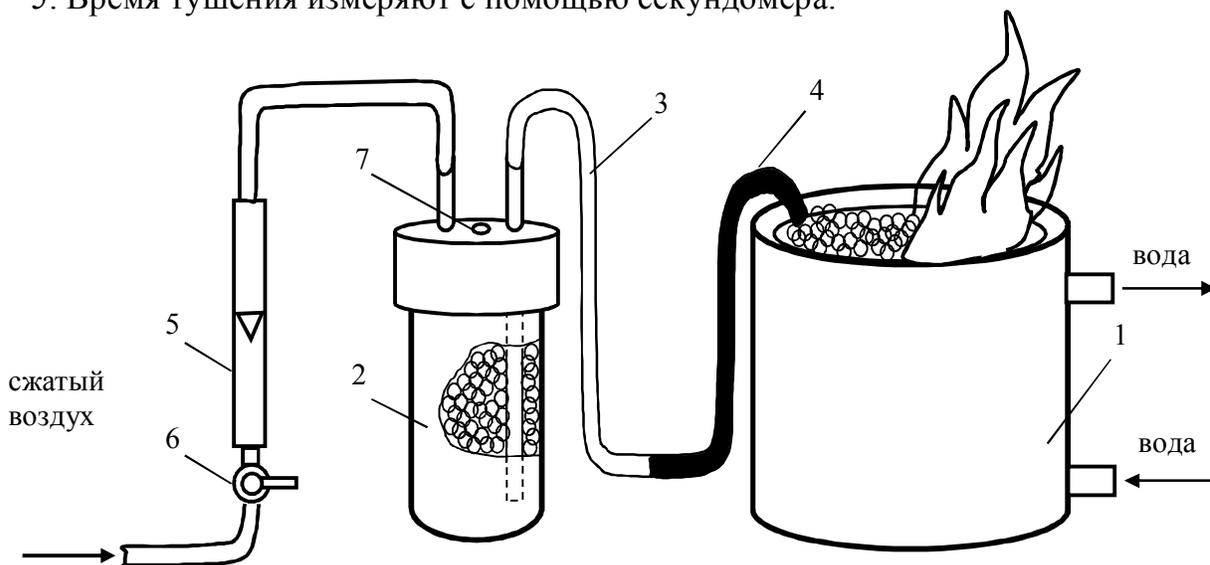


Рис. 5.2 Схема установки для определения параметров тушения жидкостей пенами.

1 – макет резервуара с рубашкой охлаждения, 2 – ёмкость, наполненная пеной, 3 – трубопровод для подачи пены в резервуар, 4 – металлический наконечник трубопровода, 5 – ротаметр, 6 – регулировочный кран, 7 – отверстие в крышке ёмкости.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Получить задание и записать исходные данные.
- 2) Приготовить 100 мл раствора пенообразователя с концентрацией, указанной в задании.
- 3) Вылить раствор в металлическую ёмкость, и миксером получить пену, перемешивая жидкость в течение 20 ± 5 с.
- 4) Определить кратность пены.
- 5) Найти массу ёмкости с пеной (m_0).
- 6) Присоединить ёмкость с пеной к системе нагнетания воздуха.
- 7) Установить наконечник трубопровода на резервуар для подачи пены требуемым способом (сверху или снизу).
- 8) Установить с помощью ротаметра требуемый расход воздуха, и закрыв отверстие в крышке ёмкости, подавать пену в резервуар до полного прекращения горения.
- 9) В момент прекращения горения открыть отверстие в крышке и прекратить подачу пены. Записать время тушения (τ_T) в таблицу 5.1

10) Взвесить ёмкость с остатками пены (m_1). Значение m_1 также записать в таблицу 5.1

Время тушения (τ_T) определяют по секундомеру с момента поступления пены на поверхность жидкости до момента полного прекращения горения. Опыты повторяют, изменяя расход воздуха. Для построения кривой тушения требуется не менее пяти опытов. Расхода воздуха подбирается так, чтобы в ходе работы получить полную кривую тушения.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Значения интенсивности подачи пены (по раствору) J_p , удельного расхода $q_{уд}$ и показателя эффективности тушения $\Pi_{эт}$ находятся по формулам:

$$I_{п} = \frac{m_0 - m_1}{S_{п} \tau_T} \quad (5.1)$$

$$q_{уд} = J_{п} \tau_T \quad (5.2)$$

$$\Pi_{э.т.} = \frac{1}{J_{п} \tau_T^2} \quad (5.3)$$

где $S_{п}$ площадь резервуара, m^2 .

Так как плотность рабочего раствора пенообразователя практически не отличается от плотности воды, а масса воздуха в пене ничтожно мала, то можно считать, что 1 кг пены соответствует 1 л раствора. Поэтому получаемое по формуле (5.1) значение интенсивности подачи имеет размерность $л/(м^2 \cdot с)$.

Экспериментальные и расчётные данные заносят в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Результаты опытов

№ опыта	Пенообразователь	Кратность пены	Способ подачи	m_0 , кг	m_1 , кг	τ_T , с	$m_0 - m_1$, кг	$J_{п}$, л/($м^2 \cdot с$)	$q_{уд}$, л/м ²	$\Pi_{эт}$

По данным табл. 5.1 строят зависимость времени тушения, удельного расхода и параметра эффективности тушения от интенсивности подачи. Для определения критической интенсивности подачи берут две крайних точки на левой восходящей ветви кривой тушения и наносят их на график в координатах $1/\tau_T = f(J)$. Точки соединяют прямой линией, которую экстраполируют на ось абсцисс. Интенсивность подачи, при которой $1/\tau_T = 0$, является критической (рис. 5.3).

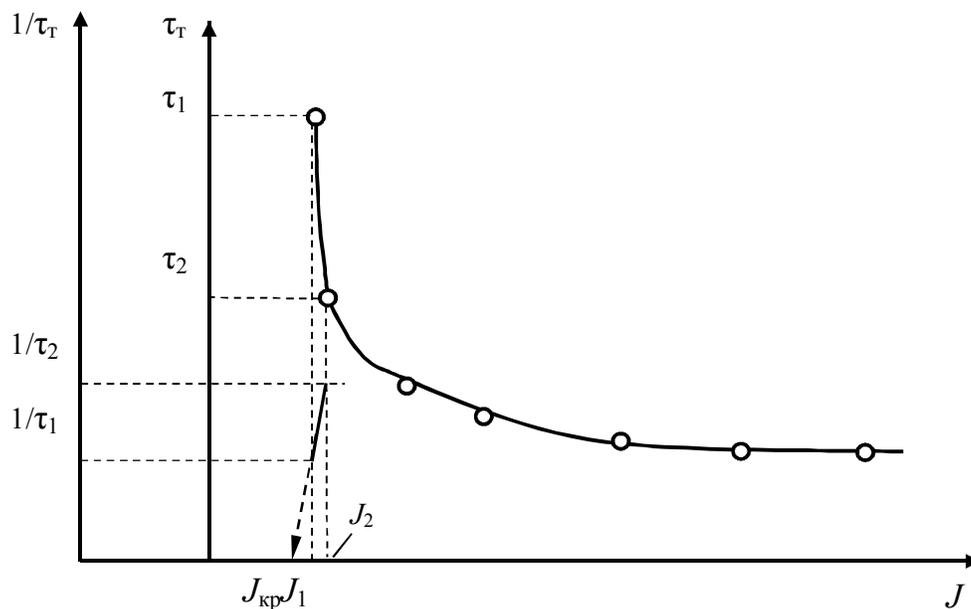


Рис. 5.3 Схема определения критической интенсивности подачи.

Выводы по результатам лабораторной работы должны содержать сравнение двух способов тушения; соотношение критической и оптимальной интенсивности подачи.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём заключается механизм прекращения горения жидкости пенами?
2. Какую роль играет разрушение пены в процессе тушения горючих жидкостей?
3. Чем различаются процессы, протекающие при тушении жидкостей пенами, полученными из пенообразователей разных видов?
4. Что такое критическая и оптимальная интенсивности подачи? Чем определяются их значения для пенообразователей разных видов?
5. Какие параметры пены определяют её огнетушащую эффективность?
6. Каков физический смысл удельного расхода? От чего зависит удельный расход?
7. По результатам работы рассчитать высоту тушащего слоя пены и построить её зависимость от интенсивности подачи. Результат объяснить.

Лабораторная работа 6
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ
ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОДОЙ

Ц е л ь р а б о т ы: экспериментально исследовать влияние различных факторов на эффективность прекращения горения твердых материалов водой на примере древесины.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Большинство пожаров связано с горением твердых горючих материалов (ТГМ). Для тушения ТГМ необходимым условием является ликвидация факела пламени. Однако достаточность этого условия зависит от характера горения твердого материала. Большинство ТГМ выделяют горючие газы в результате термического разложения (пиролиза), протекающего в поверхностном слое. Поток этих газов определяется удельной массовой скоростью выгорания. От его величины зависит интенсивность тепловыделения в зоне горения и, соответственно, температура пламени. Пламенное горение ТГМ существует, пока удельная массовая скорость выгорания не меньше некоторого предельного значения, при котором концентрация горючего в зоне горения такова, что температура пламени равна температуре потухания.

По характеру выгорания, твердые материалы со свободной поверхностью (т.е. не защищенной слоем негорючего материала) можно разделить на две группы. Первую группу составляют материалы, у которых твердая фаза непосредственно переходит в газовую без остатка. Пиролиз протекает в поверхностном слое небольшой толщины. Это ненаполненные природные и синтетические термопластичные полимеры: целлулоид, полиметилметакрилат, полиамиды и т.п. Такие материалы выгорают без остатка подобно жидкости, в гомогенном режиме. При их тушении ликвидация (или уменьшение до критического значения) внешних тепловых потоков от собственного пламени и других источников излучения, как правило, приводит к самопроизвольному охлаждению прогретого слоя и падению массовой скорости выгорания до предельного значения. Следовательно, в таких случаях, ликвидация пламени является также и достаточным условием. Для его выполнения возможно применение способов и средств объемного тушения (газовых, аэрозольных). Хотя энергетически, более выгодно ликвидировать пламенное горение ТГМ уменьшая массовую скорость выгорания до предельного значения путем охлаждения поверхности.

Во вторую группу входят материалы, при горении которых образуется переугленный слой: древесина, картон, резина, большинство реактопластов, некоторые наполненные термопласты. У материалов этой группы сначала выгорают летучие продукты, затем, в гетерогенном режиме – переугленный слой (коксовый остаток). В процессе горения переугленный слой накапливает значительный запас тепла, как правило, достаточный для продолжения пиролиза и повторного воспламенения выделяющихся газов после ликвидации пламени. Поэтому условием необходимым и достаточным для тушения ТГМ, склонных к гетерогенному горению, является охлаждение переугленного слоя до температуры ниже температуры пиролиза. Тушение этих материалов представляет наибольшую сложность т.к. интенсивность теплоотвода от поверхности должна быть выше интенсивности поступления к ней тепла как от внешних (собственного пламени, соседних предметов и т.п.), так и внутренних источников тепла. Кроме того, переугленный слой обладает термической инерцией и на его охлаждение требуется определенное время. Поэтому время тушения таких материалов даже при бесконечной интенсивности подачи не равно нулю.

Характерным представителем материалов данной группы является древесина. Ее тушение осложняется тем, что при температурах $350 \div 450^\circ\text{C}$ в пиролизующемся поверхностном слое протекают реакции между продуктами первичного распада, сопровождающиеся выделением тепла. В результате поверхность горящего образца древесины получает тепло как извне (от собственного пламени, горящих соседних предметов и т.п.), так и от собственного прогретого слоя.

Для тушения ТГМ, чаще всего, используется вода. Это самое доступное огнетушащее вещество, обладающее потенциально очень большой охлаждающей способностью. Максимальное количество тепла, которое, при условии полного испарения, может отвести от поверхности 1л воды, определяется выражением:

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}}(T_{\text{к}} - T_0) + r, \text{ кДж/л} \quad (6.1)$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, $c_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{град)}$; r – удельная теплота парообразования воды, $r = 2260 \text{ кДж/кг}$; $T_{\text{к}}$ и T_0 – температура кипения и начальная температура воды, $^\circ\text{C}$.

Принимая температуру кипения 100°C , а начальную температуру - 20°C , получим $Q_{\text{в}} = 2600 \text{ кДж/л}$. Это больше, чем у любого другого известного огнетушащего вещества. Огнетушащее действие увеличивает также водяной пар. Образуюсь на поверхности, он разбавляет (флегматизирует) газообразные продукты пиролиза, снижая их способность к воспламенению. Достигая зоны горения, он нагревается за счет ее тепла и тем самым понижает температуру пламени.

Вместе с тем хорошо известно, что значительная часть воды, подаваемой на тушение, в прекращении горения не участвует. Коэффициент использования $K_{и}$ воды всегда < 1 . В значительной мере это объясняется тем, что вследствие малой вязкости и низкой смачивающей способности вода быстро стекает с горящих предметов, не успевая полностью испариться и отобрать положенное тепло. Кроме того, не всегда удается подать воду на скрытые участки поверхности. Чем больше коэффициент поверхности горячей нагрузки, тем больше скрытых участков, тем меньше реально орошаемая площадь по отношению к площади горения. Отрицательное действие этих факторов на практике уменьшают, добавляя в воду смачиватели и применяя распыленные струи.

На практике коэффициент использования воды можно оценить как отношение минимального удельного расхода $q_{уд}^{\min}$ к фактическому - $q_{уд}$. Здесь, под минимальным удельным расходом понимается наименьшее его значение, которое было получено на практике при тушении пожаров данной площади (рис.6.1). При $S_{п} \geq 50\text{м}^2$ минимальный удельный расход воды численно равен половине площади пожара: $q_{уд}^{\min} = 0,5S_{п}$, л/м².

В данной лабораторной работе коэффициент использования определяют путем прямого измерения количества воды, поданной мимо очага, а также не успевшей испариться на поверхности.

На эффективность использования воды также влияют параметры тушения. При тушении водой, как и другими известными огнетушащими веществами, параметры прекращения горения (интенсивность подачи, время тушения и удельный расход) связаны кривой тушения. Коэффициент использования имеет максимальное значение при оптимальной интенсивности подачи. Отличие интенсивности подачи от оптимальной приводит к перерасходу воды. В случае подачи воды с интенсивностью равной или меньшей критической, удельный расход бесконечен, а $K_{и} = 0$. Сравнить эффективность различных способов тушения, применяемых огнетушащих веществ при разных параметрах подачи, можно с помощью показателя эффективности тушения $\Pi_{эт}$.

Таким образом, величина $K_{и}$ в каждом конкретном случае различная и зависит от характеристик горящих материалов и изделий, характеристик воды, параметров подачи и других факторов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В ходе данной работы проводится сравнительная оценка влияния на огнетушащую способность воды коэффициента поверхности пожарной нагрузки, вида струи и добавок смачивателей. Лабораторными модельными очагами служат штабели из брусков древесины.

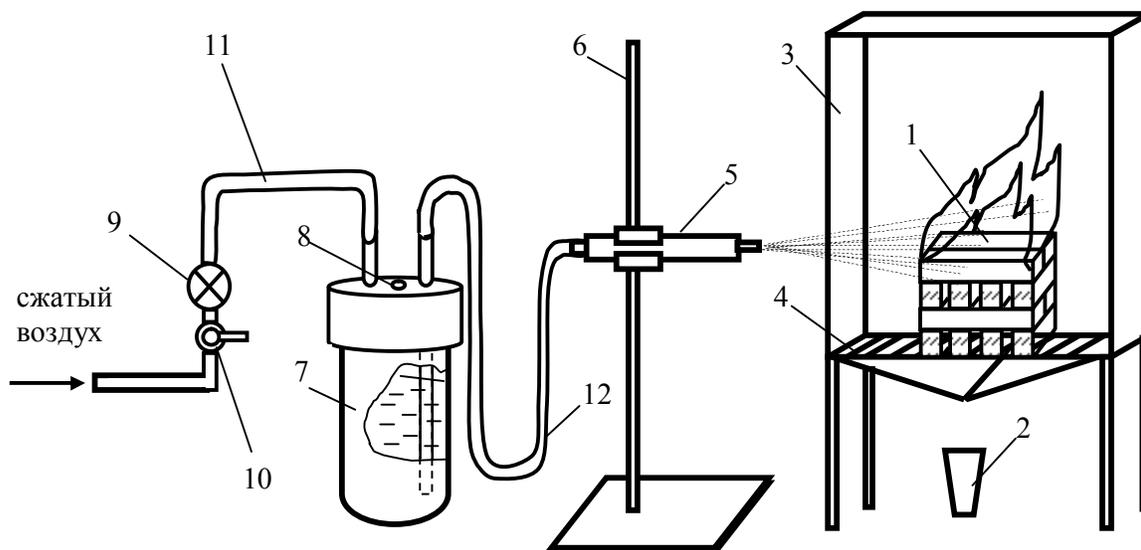


Рис. 6.2. Схема установки для определения параметров тушения штабеля водой.

1 – штабель из деревянных брусков, 2 – мерный сосуд, 3 – ограждающий борд, 4 – конусообразный поддон, 5 – макет ствола для подачи воды, 6 – штатив, 7 – ёмкость с водой, 8 – отверстие в крышке ёмкости, 9 – редуктор, 10 – регулировочный кран, 11 – воздухопровод, 12 – трубопровод.

О п и с а н и е у с т а н о в к и. Лабораторная установка (рис. 6.2) представляет собой металлический короб с ограждением из жести и решетчатым дном. Для сбора пролитой воды под решеткой установлен конусообразный поддон, с которого вода стекает в мерный стакан. Вода заливается в промежуточную емкость, из которой воздухом по трубопроводу подается на стволы, формирующие компактные и распыленные струи. Расход воды варьируют, изменяя давление воздуха. Штабель поджигают пламенем газовой горелки или площадки с бензином.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Всего проводится 4 опыта. В опытах №1 и №2 производится тушение штабелей с разными коэффициентами поверхности K_{Π} компактной струей, в опыте №3 штабеля с наибольшим K_{Π} распыленной струей, в опыте №4 – того же штабеля компактной струей с добавкой смачивателя.

1. Получить задание и записать:

- размеры бруска ($a \times b \times l$), мм;
- общее число брусков в первом N_1 и во втором N_2 штабеле,
- число брусков в одном ряду первого n_1 и второго n_2 штабеля,
- требуемую интенсивность подачи воды – $J_{\text{треб}}$, л/(с·м²).

2. Рассчитать:
 - коэффициенты поверхности штабелей - K_n^1 и K_n^2 по формуле (1.9),
 - секундный расход воды $q_{\text{треб}}$ (л/с), обеспечивающий $J_{\text{треб}}$.
3. Залить воду в емкость и с помощью регулировочного крана подачи воздуха (на передней панели вытяжного шкафа), засекая секундомером время заполнения мерного стакана, установить расход воды, равный $q_{\text{треб}}$.
4. Взвесить пустой мерный стакан и установить его для сбора пролитой воды. Записать m_0 в табл. 6.1
5. Заполнить емкость водой, взвесить и записать M_0 в табл. 6.1.
6. Выложить штабель на решетку и поджечь пламенем газовой горелки или площадки с бензином. Время свободного горения – 2 мин после полного охвата пламенем всех брусков штабеля.
7. Включить секундомер и одновременно начать подачу воды на тушение. Тушение производить с одной позиции до полного прекращения горения.
8. По окончании тушения выключить секундомер и записать в табл. 6.1 время тушения τ_T ; дождаться полного стекания воды, взвесить мерный стакан и записать m_1 ; взвесить емкость с остатком воды и записать M_1 .
9. Опыт повторить при других условиях, указанных выше. Результаты записать в табл. 6.1.

Результаты опытов

Таблица 6.1.

№ опыта	K_n	Вид струи	До опыта		После опыта		$\tau_T, \text{с}$
			$m_0, \text{кг}$	$M_0, \text{кг}$	$m_1, \text{кг}$	$M_1, \text{кг}$	
1	$K_n^1 = \dots$	Компактная					
2	$K_n^2 = \dots$	Компактная					
3	$K_n^2 = \dots$	Распыленная					
4	$K_n^2 = \dots$	Компактная со смачивателем					

Примечания: m – масса мерного стакана, M – масса емкости с водой.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассчитываются и заносятся в табл. 6.2 следующие параметры.

Фактическая интенсивность подачи:

$$J_{\text{факт}} = \frac{M_0 - M_1}{S_n \tau_T}, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2) \quad (6.2)$$

где S_n – площадь пожара, м^2 .

Коэффициент использования:

$$K_{и} = \frac{(M_0 - M_1) - (m_1 - m_0)}{M_0 - M_1}. \quad (6.3)$$

Показатель эффективности тушения:

$$П_{эт} = \frac{1}{J_{факт} \cdot \tau_T^2}. \quad (6.4)$$

Таблица 6.2

Результаты обработки данных

№ опыта	1	2	3	4
$K_{и}$				
$J_{факт}, л/(с \cdot м^2)$				
$K_{и}$				
$П_{эт}$				

По результатам работы сделать выводы о эффективности данных способов повышения огнетушащей способности воды.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить механизм тушения ТГМ водой.
2. Объяснить достоинства и недостатки тушения древесины тонкораспыленной водой
3. Объяснить влияние коэффициента поверхности горючей нагрузки на эффективность использования воды на пожаре.
4. Как зависит эффективность использования воды от интенсивности подачи?
5. Как рассчитать коэффициент использования воды, если известны: площадь пожара ($>50 м^2$), суммарный секундный расход и время тушения?
6. Объяснить, почему при $J \rightarrow \infty$ время тушения древесины не равно нулю?
7. Объяснить влияние смачивателя на эффективность использования воды?
8. Сравнить фактический охлаждающий эффект воды при тушении компактной и распыленной струей?

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕКРАЩЕНИЯ ГОРЕНИЯ ФОНТАНОВ ВОДОЙ

Ц е л ь р а б о т ы: Экспериментально исследовать зависимость тушащего расхода воды от дебита от газового фонтана.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Механизм прекращения горения газовых фонтанов водой включает несколько процессов. Главными из них можно считать охлаждение зоны горения, разбавление зоны горения парами воды, разрушение устойчивости факела газа.

Согласно тепловой теории потухания прекращение горения наступает в результате понижения температуры пламени до некоторой критической величины, называемой температурой потухания $T_{\text{пот}}$. Это достигается путем увеличения интенсивности теплоотвода от зоны горения и (или) уменьшением интенсивности тепловыделения за счет снижения скорости реакции горения.

В результате попадания воды в зону горения часть тепла химической реакции начинает затрачиваться на нагрев, испарение воды и нагрев образующегося пара. В этом заключается механизм охлаждения зоны горения. В то же время, появление нейтрального газа (каким является водяной пар) уменьшает концентрацию молекул горючего и окислителя в зоне горения, т.е. приводит к ее разбавлению. Кроме того, присутствие воды изменяет распределение скоростей по сечению газовой струи, а также снижает нормальную скорость распространения пламени. В результате нарушается устойчивость факела, что в ряде случаев приводит к срыву пламени.

Уравнение теплового баланса пламени имеет вид:

$$q_{\text{п}} = q_{\text{з.г.}} + q_{\text{луч}}, \quad (7.1)$$

где $q_{\text{п}}$ – интенсивность выделения тепла в зоне горения; $q_{\text{з.г.}}$ – интенсивность накопления тепла в зоне горения; $q_{\text{луч}}$ – интенсивность отвода тепла из зоны горения излучением.

Температура пламени непосредственно определяется величиной $q_{\text{з.г.}}$:

$$q_{\text{з.г.}} = q_{\text{п}} - q_{\text{луч}}. \quad (7.2)$$

Величину $q_{\text{луч}}$ можно выразить как долю потерь тепла от $q_{\text{п}}$, называемую коэффициентом излучения, обозначим его k_1 . Тогда

$$\begin{aligned} q_{\text{з.г.}} &= q_{\text{п}} - k_1 \cdot q_{\text{п}}, \\ &\text{или} \\ q_{\text{з.г.}} &= (1 - k_1) \cdot q_{\text{п}}. \end{aligned} \quad (7.3)$$

Интенсивность теплоотвода от зоны горения, требуемую для охлаждения зоны горения до $T_{\text{пот}}$, также выразим в виде доли k_2 от $q_{\text{п}}$.

Согласно тепловой теории, адиабатическая температура потухания кинетического пламени определяется выражением:

$$T_{\text{пот}}^{\text{ад}} = T_{\text{г}} - \frac{RT_{\text{г}}^0}{E}, \quad (7.4)$$

где $T_{\text{г}}$ – адиабатическая температура горения, К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); E – энергия активации химической реакции, кДж/моль.

Однако горение реальных газовых фонтанов является диффузионным, т.е. характеристики процесса определяются главным образом скоростью взаимной диффузии горючего и окислителя, а не скоростью химических реакций между ними. Значения энергии активации реакций горения в таких условиях отсутствуют. В данной ситуации за температуру потухания можно принять температуру горения смеси, в которой содержание горючего равно нижнему концентрационному пределу воспламенения $T_{\text{г}}^{\text{н}}$.

Допустим, что максимальная температура факела равна температуре горения смеси стехиометрического состава $T_{\text{г}}^{\text{ст}}$. Тогда количество тепла, которое необходимо отвести от пламени, будет пропорционально разности $\Delta T = T_{\text{г}}^{\text{ст}} - T_{\text{г}}^{\text{н}}$. Отношение $\Delta T/T_{\text{г}}^{\text{ст}}$ составит величину k_2 .

Таким образом, требуемая интенсивность теплоотвода $q_{\text{отв}}^{\text{тп}}$ с учетом выражения (7.3) будет равна:

$$q_{\text{отв}}^{\text{тп}} = (1 - k_1) \cdot k_2 \cdot q_{\text{п}}. \quad (7.5)$$

Интенсивность тепловыделения рассчитывается по формуле

$$q_{\text{п}} = V_{\text{г}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \beta, \quad (7.6)$$

где $V_{\text{г}}$ – объемный расход горючего газа, м³/с; $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ – низшая теплота сгорания, кДж/м³; β – коэффициент полноты сгорания.

Коэффициент k_1 зависит от состава горючего газа. В общем случае его значение можно оценить по выражению:

$$k_1 = 0,048 \sqrt{\sum M_i \cdot a_i}, \quad (7.7)$$

где M_i и a_i – молярная масса и объемная доля i -го горючего газа в смеси.

Действительную температуру горения $T_{\text{г}}^{\text{ст}}$ (т.е. при $\alpha = 1$) можно оценить по формуле

$$T_{\text{г}}^{\text{ст}} = T_0 + \frac{Q_{\text{н}}(1 - k_1)}{V_{\text{CO}_2} \cdot Cp_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Cp_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} \cdot Cp_{\text{N}_2}}, \quad (7.8)$$

где V_{CO_2} , $V_{\text{H}_2\text{O}}$, V_{N_2} – количество соответствующего компонента, найденное по уравнению реакции горения при $\alpha = 1$; Cp_{CO_2} , $Cp_{\text{H}_2\text{O}}$, Cp_{N_2} – удельная теплоемкость при 1500 К.

При концентрации горючего, равной нижнему концентрационному пределу, температура горения T_r^n будет равна:

$$T_r^n = T_0 + \frac{Q_n(1-k_1)}{V_{\text{CO}_2} \cdot Cp_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Cp_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} \cdot Cp_{\text{N}_2} \cdot \Delta V_B \cdot Cp_B}, \quad (7.9)$$

где $\Delta V_B = V_B^0(\alpha-1)$ – избыток воздуха; V_B^0 – теоретический объем воздуха; Cp_B – удельная теплоемкость воздуха при 1500 К.

Коэффициент избытка воздуха на нижнем концентрационном пределе воспламенения φ_n равен:

$$\alpha = \frac{100 - \varphi_n}{\varphi_n \cdot V_B^0}, \quad (7.10)$$

С использованием формул (7.8) – (7.10) находится коэффициент k_2 как отношение $(T_r^{\text{ст}} - T_r^n) / T_r^{\text{ст}}$. Коэффициент полноты сгорания β для газов можно принять равным 0,9. Низшую теплоту сгорания находят по таблицам или рассчитывают по известным формулам.

Количество тепла, которое способна отнять вода от зоны горения при полном ее испарении и нагреве паров воды до температуры потухания в зоне горения, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{ств}}^B = Q_B + Q_{\text{и}} + Q_{\text{п}}, \quad (7.11)$$

где: Q_B – количество тепла, отбираемое на нагрев воды до температуры кипения, кДж; $Q_{\text{и}}$ – количество тепла, отбираемое за счет испарения воды, кДж; $Q_{\text{п}}$ – количество тепла, отнимаемое на нагрев пара от 100 °С до температуры потухания,

или по формуле

$$Q_{\text{ств}}^B = m_B \cdot C_B \cdot \Delta T_B + m_B \cdot r_B + m_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}} \cdot \Delta T_{\text{п}}, \quad (7.12)$$

где: m_B , $m_{\text{п}}$ – масса воды и пара соответственно, кг; C_B – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·град); r_B – удельная теплота испарения воды, кДж/кг; $C_{\text{п}}$ – средняя удельная теплоемкость пара в диапазоне температур от 100 до 1000 °С, кДж/(кг·град).

Если $m_B = m_{\text{п}} = 1$ кг, начальная температура воды равна 20 °С, после подстановки численных значений входящих величин получим $Q_{\text{ств}}^B = 4400$ кДж/кг. Это означает, что каждый килограмм (литр) воды, поданный в объем после полного ее испарения и разогрева пара до $T_{\text{пот}}$, отнимет от зоны химических реакций горения примерно 4400 кДж. При расходе воды q_B (л/с) интенсивность отвода тепла (в кДж/с) от факела пламени при указанных условиях будет равна:

$$Q_{\text{ств}}^{\text{в}} = Q_{\text{ств}}^{\text{р}} \cdot q_{\text{в}}. \quad (7.13)$$

Согласно тепловой теории, тушение наступит, если

$$q_{\text{ств}}^{\text{в}} > q_{\text{ств}}^{\text{треб}},$$

откуда

$$q_{\text{в}} \geq q_{\text{ств}}^{\text{треб}} / q_{\text{ств}}^{\text{р}} = \frac{(1-k_1) \cdot k_2 \cdot \beta \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot V_{\text{г}}}{Q_{\text{ств}}^{\text{в}}}. \quad (7.14)$$

В действительности расход воды, обеспечивающий тушение газовых факелов, может быть как выше, так и ниже значения $q_{\text{в}}$, найденного таким способом. Это зависит от скорости истечения газовой струи. Чем ниже скорость истечения, тем меньше турбулентность потока газа и, соответственно, меньше степень дробления воды. В результате этого крупные капли выпадают из зоны горения, не все капли успевают испариться и не весь образовавшийся пар успевает нагреться до $T_{\text{пот}}$, т.е. фактическое значение $Q_{\text{ств}}^{\text{в}}$ меньше расчетного. Соответственно фактический расход может быть больше расчетного. С увеличением скорости истечения газа степень дробления возрастает. Также увеличивается фактическое значение $Q_{\text{ств}}^{\text{в}}$. Кроме того, с увеличением скорости истечения газа все больше возрастает вклад аэродинамического фактора, т.е. нарушения устойчивости факела. Поэтому при большом дебите газового фонтана реальный тушащий расход воды может быть меньше теоретического.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Схема лабораторной установки показана на рис. 7.1. Горючий газ (пропан-бутановая смесь) подается из баллона через газовый ротаметр в горелку 1 со сменными соплами. Вода заливается в емкость 4, из которой под давлением воздуха, создаваемого компрессором, подается непосредственно в струю газа до его выхода из сопла горелки. Расход газа устанавливается с помощью редуктора 3, расход воды – с помощью вентиля 6 по показаниям ротаметра 5. В результате экспериментов необходимо определить минимальный тушащий расход воды для каждого заданного расхода газа и построить его зависимость от линейной скорости истечения на срезе сопла.

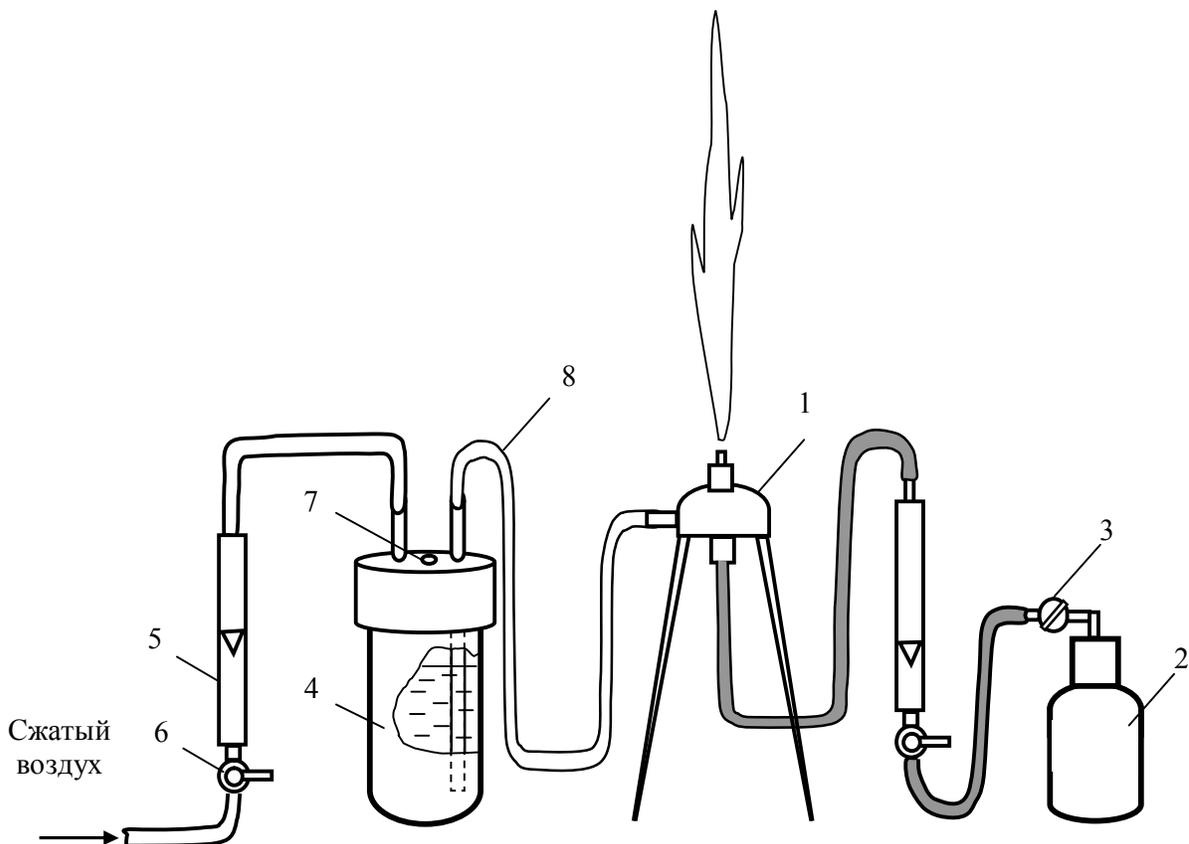


Рис. 7.1. Схема установки для определения параметров тушения фонтана водой:
 1 - газовая горелка, 2 – баллон с горючим газом, 3 – редуктор, 4 – ёмкость с водой,
 5 – ротаметр, 6 – регулировочный кран, 7 – отверстие в крышке ёмкости, 8 трубо-
 провод для подачи воды в сопло горелки.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить задание и записать исходные данные в табл. 7.1.
2. Залить воду в емкость 3 и взвесить ее: результат m_v записать в табл. 6.2.
3. Краном 1 установить расход воздуха и записать число делений $n_{\text{дель}}$ показываемых ротаметром 2, в табл. 7.2.
4. Открыв вентиль редуктора, подать газ в горелку и немедленно зажечь его.
5. Установить заданный расход газа № 1.
6. Закрыв отверстие 4 в крышке емкости, подать воду в факел пламени.
7. С помощью секундомера определить время подачи воды от момента появления ее из сопла до тушения факела $\tau_{\text{под}}$.

8. Отсоединить крышку и взвесить емкость с остатком воды: результат m_1 записать в табл. 7.2.

9. Если тушение факела достигнуто, уменьшить расход воздуха и, соответственно, воды.

10. Не изменяя расход газа, повторить пп. 3-8 и найти такой расход воды $q_B^{\text{факт}}$, при котором $\tau_{\text{под}}$ не превышает 1 с.

11. Все повторить при расходах газа №№ 2, 3, 4 и 5.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Учитывая, что 1 л воды имеет массу 1 кг, значение $q_B^{\text{факт}}$ находится по формуле

$$q_B^{\text{факт}} = (m_0 - m_1) / \tau_{\text{под}} \quad (7.15)$$

2. Линейная скорость истечения газа v_r (м/с) определяется по уравнению

$$v_r = V_r / (\pi r^2), \quad (7.16)$$

где r – радиус сопла, м.

3. По результатам опытов строятся зависимости минимального тушащего расхода воды, требуемого q_B и фактического $q_B^{\text{факт}}$ от скорости истечения газа.

Таблица 7.1

Исходные данные

Состав газа, %	Диаметр сопла, мм	k_1	$T_r^{\text{ст}}$ К	$T_r^{\text{н}}$ К	α	k_2	$Q_{\text{н}}$, кДж/ м ³	Расход газа, V_r , м ³ /с					Расход воды, q_B , л/с						
								№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5		

Таблица 7.2

Результаты опытов

V_r , м ³ /с	$n_{\text{дел}}$	m_0 , кг	m_1 , кг	$m_0 - m_1$, кг	$\tau_{\text{под}}$, с	$q_B^{\text{факт}}$, л/с	v_r , м/с

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить механизм горения газового факела.
2. Объяснить, почему горение происходит по поверхности со стехиометрической концентрацией?
3. Нарисовать распределение концентраций горючего, кислорода, продуктов горения и распределение температур в поперечном сечении горящего диффузионного факела.
4. Какие механизмы действуют при тушении газового факела водой?
5. Объяснить, почему фактический тушащий расход воды зависит от скорости истечения газа?
6. Объяснить, почему требуемый расход воды зависит от скорости истечения газа?
7. Почему полученные значения фактического расхода воды отличаются от теоретических?
8. Рассчитать теоретический удельный расход воды в л/м³, необходимый для тушения газового факела заданного газа по механизму охлаждения.
9. Рассчитать теоретический удельный объем воды, необходимый для тушения газового факела заданного газа по механизму разбавления.

Содержание

Введение.....	3
Общие требования к выполнению, оформлению и обработке экспериментальных данных лабораторной работы.....	3
Меры безопасности и первой помощи при работе в лаборатории.....	4
Лабораторная работа №1. Исследование динамики внутреннего пожара.....	6
Лабораторная работа №2. Определение минимальной огнетушащей концентрации газового состава при тушении горючих жидкостей.....	18
Лабораторная работа №3. Тушение пожаров в помещениях газовыми составами.....	23
Лабораторная работа №4. Исследование процесса разрушения воздушно – механической пены на поверхности горячей жидкости.....	34
Лабораторная работа №5. Исследование процесса прекращения горения жидкостей воздушно – механическими пенами.....	39
Лабораторная работа №6 Исследование эффективности тушения твердых материалов водой.....	44
Лабораторная работа №7. Исследование процесса прекращения горения газовых фонтанов водой.....	50

Учебное издание

Бобков Сергей Анатольевич
Бабурин Александр Владимирович
Комраков Петр Владимирович,
Смирнов Алексей Викторович

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Учебно-методическое пособие

Подписано в печать _____. Формат 60×90 1/16.
Печ. л. 3,75. Уч.-изд. л. 2,72.
Бумага офсетная. Тираж 1500 экз. Заказ

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4